



TUGAS AKHIR - TL 091584

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI EKSTRAK DAUN
JAMBU BIJI (*Psidium guajava*) DAN DAUN CENGKEH
(*Syzigium aromaticum*) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK
PADA API 5L *GRADE B* DI LINGKUNGAN NaCl 3,5% pH4**

**INDAH AMALIA
NRP. 2712 100 103**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT - TL 091584

**EFFECT OF VARIATION CONCENTRATION OF GUAVA
LEAF (*Psidium guajava*) AND CLOVE LEAF (*Syizigium
aromaticum*) EXTRACTS AS ORGANIC INHIBITOR ON API
5L GRADE B IN NaCl 3,5% pH4 ENVIRONMENT**

**INDAH AMALIA
NRP. 2712 100 103**

**ADVISOR
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc**

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH VARIASI KONSENTRASI EKSTRAK DAUN
JAMBU BILJI (*Psidium guajava*) DAN DAUN CENGKEH
(*Syzigium aromatic*) SEBAGAI INHIBITOR PADA BAJA
API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5% pH4

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
INDAH AMALIA
NRP. 2712 100 103

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA (Pembimbing I)

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. (Pembimbing II)



**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI EKSTRAK DAUN
JAMBU BIJI (*Psidium guajava*) DAN DAUN CENGKEH
(*Syzigium aromaticum*) SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK
PADA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN NaCl 3,5% pH4**

Nama Mahasiswa : Indah Amalia
NRP : 2712100103
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co – Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

Abstrak

Penggunaan inhibitor organik menjadi alternatif baru untuk proteksi korosi karena bersifat biodegradable, biaya murah, dan ramah lingkungan. Inhibitor organik yang digunakan adalah ekstrak daun jambu biji dengan konsentrasi 392, 785, 1188, 1570 dan 1591 ppm dan ekstrak daun cengkeh dengan konsentrasi 1536, 1736, 1923, 2113 dan 2304 ppm. Dari hasil pengujian weightloss, konsentrasi optimum pada ekstrak daun jambu biji berada pada konsentrasi 1188 ppm dengan laju korosi 2,01 mpy dan efisiensi 64,08% sedangkan ekstrak daun cengkeh konsentrasi optimumnya berada pada konsentrasi 2304 ppm dengan laju korosi 4,07 mpy dengan efisiensi 45,32%. FTIR menunjukkan gugus – gugus fungsi yang berada di dalam inhibitor dan diperkuat dengan hasil GCMS untuk menunjukkan senyawa eugenol pada daun cengkeh dan pengujian kandungan tanin untuk mengetahui kandungan senyawa tanin yang terdapat dalam ekstrak daun jambu biji. Pengujian FTIR juga menunjukkan bahwa gugus – gugus fungsi pada inhibitor menempel pada permukaan sampel ketika sampel di rendam. Mekanisme adsorpsi dari kedua inhibitor adalah physical adsorption dengan nilai ΔG_{ads} pada inhibitor ekstrak daun jambu biji sebesar -6,6524 kJ/mol dan -10,789 kJ/mol untuk inhibitor ekstrak daun cengkeh. EIS menunjukkan adanya peningkatan nilai tahanan polarisasi pada larutan yang diberi

penambahan inhibitor dan nilai dari CPE menurun yang menunjukkan bahwa terjadi pembentukan lapisan protektif. Kedua jenis inhibitor ini termasuk dalam jenis inhibitor campuran (mix type inhibitor).

Kata kunci : inhibitor daun jambu biji, inhibitor daun cengkeh, API 5L grade B, NaCl 3,5% pH4, *mix-typed* inhibitor

**EFFECT OF VARIATION CONCENTRATION OF GUAVA
LEAF (*Psidium guajava*) AND CLOVE LEAF (*Syzigium
aromaticum*) EXTRACT AS ORGANIC INHIBITOR ON
API 5L GRADE B IN NaCl 3,5% pH4 ENVIRONMENT**

Name : Indah Amalia
NRP : 2712100103
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Lecturer : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co – Lecturer : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc

Abstract

The use of green corrosion inhibitors naturally become a new alternative for corrosion protection because it is biodegradable, low cost, and environmentally friendly. Organic inhibitors that used are guava leaf extract at concentrations of 392, 785, 1188, 1570 and 1591 ppm and clove leaf extract with a concentration of 1536, 1736, 1923, 2113 and 2304 ppm. From weight loss, the optimum concentration in guava leaf extract is at 1188 ppm to 2.01 mpy corrosion rate and efficiency of 64.08% while the clove leaf extract optimum concentration is at a concentration of 2304 ppm to 4.07 mpy corrosion rate with an efficiency of 45.32%. FTIR showed groups - the functional groups inside inhibitors and supported by GCMS results to obtain the eugenol compound in clove leaf and tannins test to determine the composition of tannin in the guava leaf extract. FTIR testing also showed that the inhibitor functional groups attached to the surface of the sample when the sample was soaked. Adsorption mechanism of inhibitors are physical adsorption with an ΔG_{ads} in guava leaf extract is - 6.6524 kJ/mol and -10.789 kJ/mol for inhibitors of clove leaf extract. EIS shows an increase in the value of polarization resistance on the addition of inhibitor-treated solution and the value of CPE decrease which indicates that the formation of a protective coating. The type of inhibitors are mixed-type inhibitor.

Keywords : guava leaf inhibitor, clove leaf inhibitor, API 5L grade B, NaCl 3,5% pH, mixed-type inhibitor



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium guajava*) dan Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) sebagai Inhibitor Organik pada Baja API 5L Grade B di Lingkungan NaCl 3,5% pH4”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan kerja praktik ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan kerja praktik ini dapat diselesaikan berikut:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ibu, Bapak dan Adik tercinta, Ibu Marsiti, Bapak Abdul Gani serta Reza dan Samara yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih motivasi dan inspirasi.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Dr. Lukman Noerochim, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA dan Budi Agung Kurniawan ST., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis.



6. Seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan praktikum, Terima kasih Eka, Yoshua, Tata, Anis, Dana, Acong, Gilang, Donny, Ilmal, Aini dan Muhyi
8. Kesayangan MT14 yang menemani dari masa mahasiswa baru : Opin, Dayu, Fadhil, Piki, Tata dan Anis
9. Terimakasih juga terkhusus untuk Lisdi dan Bram yang sudah menemani penulis mencari daun cengkeh ke Wonosalam, Jombang
10. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Pohon Jambu belakang Musholla dan didepan Laboratorium Ekstraksi
11. Teman-teman seperjuangan MT 14.
12. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 5 Januari 2016
Penulis,

Indah Amalia
2712100103



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Sumur Minyak Bumi	7
2.2. Baja	9
2.2.1. Baja API 5L <i>grade B</i>	10
2.3. Prinsip Dasar Korosi	10
2.4. Faktor-Faktor Terjadinya Korosi	13
2.4.1. Pengaruh NaCl terhadap Laju Korosi	16
2.4.2. Pengaruh Asam Asetat dalam Korosi	17
2.5. Pengukuran Laju Korosi	19
2.5.1. Metode Kehilangan Berat	19
2.5.2. Polarisation Tafel	21
2.6. Pengujian EIS	23
2.7. Perlindungan Korosi	26
2.7.1. Proteksi Katodik	26
2.7.2. Anoda Korban	26
2.7.3. <i>Coating</i>	27
2.7.4. <i>Material Selection and Design</i>	27
2.7.5. Inhibitor	27
2.8. Inhibitor Organik	31



2.8.1. Mekanisme Inhibisi secara Adsorpsi	32
2.8.2. Isoterm Adsorpsi Langmuir	35
2.8.3. Isoterm Adsorpsi Feundlich	36
2.9. Daun Cengkeh	37
2.9.1. Eugenol pada Daun Cengkeh	38
2.10. Daun Jambu Biji	41
2.10.1. Tanin pada Daun Jambu Biji	42
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir	47
3.2. Alat dan Bahan Percobaan	48
3.2.1. Alat Percobaan	48
3.2.2. Bahan Percobaan	49
3.3. Prosedur Penelitian	50
3.3.1. Preparasi Sample	50
3.3.2. Persiapan Larutan Rendam	52
3.3.3. Persiapan Inhibitor	53
3.4. Langkah Uji Rendam ASTM G31-72	57
3.5. Pengujian	59
3.5.1. Pengujian Spektrometri	59
3.5.2. Pengujian Fitokimia Tanin	61
3.5.3. Pengujian GCMS	62
3.5.4. Pengujian FTIR	64
3.5.5. Pengujian <i>Weightloss</i>	65
3.5.6. Pengujian Polarisasi Tafel	67
3.5.7. Pengujian EIS	70
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil	73
4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometri	73
4.1.2. Hasil Pengujian Tanin	74
4.1.3. Hasil Pengujian GCMS	74
4.1.4. Hasil Pengujian FTIR	77
4.1.4.1. FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji	77
4.1.4.2. FTIR Ekstrak Daun Cengkeh	83



4.1.5. Hasil Pengamatan Visual	89
4.1.6. Hasil Pengujian <i>Weightloss</i>	90
4.1.6.1. <i>Weightloss</i> Inhibitor Daun Jambu Biji	91
4.1.6.2. <i>Weightloss</i> Inhibitor Cengkeh	93
4.1.7. Teori Langmuir <i>Adsorption Isotherm</i>	96
4.1.8. Hasil Pengujian Tafel	97
4.1.8.1. Hasil Tafel Inhibitor Daun Jambu Biji	98
4.1.8.2. Hasil Tafel Inhibitor Cengkeh	100
4.1.9. Hasil Pengujian EIS	101
4.1.9.1. EIS Inhibitor Daun Jambu Biji	101
4.1.9.2. EIS Inhibitor Daun Cengkeh	104
4.2. Pembahasan	106

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	111
5.2. Saran	111

DAFTAR PUSTAKA 113

LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Pourbaix Fe	16
Gambar 2.2. Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel	22
Gambar 2.3. Aliran Nyquist. (a) Spektrum EIS aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik, dan (b) Aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan proses difusi	25
Gambar 2.4. Kurva isotherm adsorpsi Langmuir	36
Gambar 2.5. Kurva isotherm adsorpsi Freundlich	36
Gambar 2.6. Daun cengkeh	37
Gambar 2.7. Struktur kimia eugenol	39
Gambar 2.8. Reaksi eugenol dengan logam	39
Gambar 2.9. Daun jambu biji	41
Gambar 2.10. Struktur kimia tannin	42
Gambar 2.11. Struktur kimia dari <i>Iron (III) tannate</i>	43
Gambar 3.1. Diagram alir	47
Gambar 3.2. Spesimen uji <i>Weight loss</i>	50
Gambar 3.3. Spesimen uji Tafel dan EIS	51
Gambar 3.4. Daun jambu biji	53
Gambar 3.5. Serbuk daun jambu biji	54
Gambar 3.6. Daun cengkeh kering	54
Gambar 3.7. Serbuk daun cengkeh kering	55
Gambar 3.8. Maserasi Terbuka Serbuk Daun Jambu Biji dengan Pelarut 50% Etanol, 50% Aquades	56
Gambar 3.9. Maserasi Tertutup Serbuk Daun Cengkeh Dengan Pelarut 70% Petroleum Eter	57
Gambar 3.10. Spesimen Uji Rendam (a) Tanpa Inhibitor (b) Inhibitor Jambu Biji dan (c) Inhibitor Daun Cengkeh	58
Gambar 3.11. Alat uji GCMS	63



Gambar 3.12. Alat uji FTIR	64
Gambar 3.13. Alat uji Tafel Polarisasi	67
Gambar 3.14. Alat uji EIS	68
Gambar 4.1. Kromatogram ekstrak eugenol sample	75
Gambar 4.2. Kromatogram standar eugenol	75
Gambar 4.3. Kromatogram dan waktu retensi ekstrak Daun cengkeh	76
Gambar 4.4. Grafik FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji	78
Gambar 4.5. Gugus Fungsi Tanin	79
Gambar 4.6. Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji 1188 ppm	80
Gambar 4.7. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Jambu Biji dan Baja API 5L Grade B	81
Gambar 4.8. Grafik FTIR Ekstrak Daun Cengkeh	83
Gambar 4.9. Gugus Fungsi Eugenol	84
Gambar 4.10. Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh 2304 ppm	86
Gambar 4.11. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Cengkeh dan Baja API 5L Grade B	87
Gambar 4.12. Pengamatan visul pada API 5L grade B (a) Sebelum perendaman (b) Tanpa inhibitor (c) Inhibitor daun jambu biji 1188 ppm dan (d) Inhibitor daun cengkeh 2304 ppm	89
Gambar 4.13. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Jambu Biji terhadap Laju Korosi API 5L Grade B	91
Gambar 4.14. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Jambu Biji terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B	92
Gambar 4.15. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Cengkeh terhadap Laju Korosi API 5L	



Grade B	94
Gambar 4.16. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Cengkeh terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B	95
Gambar 4.17. Kurva Polarisasi API 5L pada NaCl 3,5% pH 4 Tanpa Inhibitor	98
Gambar 4.18. Kurva Polarisasi API 5L pada NaCl 3,5% pH 4 dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji 1188 ppm	99
Gambar 4.19. Kurva Polarisasi API 5L pada NaCl 3,5% pH 4 dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh 2304 ppm	101
Gambar 4.20. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji dalam NaCl 3,5% pH4	102
Gambar 4.21. Hasil <i>Equivalent Circuit</i> plot Nyquist dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji konsentrasi (a) 0 ppm (b) 1188 ppm	103
Gambar 4.22. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh dalam NaCl 3,5% pH4	104
Gambar 4.23. Hasil <i>Equivalent Circuit</i> plot Nyquist dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh konsentrasi (a) 0 ppm (b) 2304 ppm	105



(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Standar untuk komposisi kimia dan uji tarik baja API 5L GB	10
Tabel 2.2. Konstanta laju korosi	20
Tabel 2.3. Perbedaan fisisorpsi dan kemisorpsi.....	34
Tabel 3.1. Komposisi Baja API5L <i>grade</i> B	49
Tabel 3.2. Perancangan penelitian <i>weight loss</i>	66
Tabel 3.3. Parameter pengujian tafel	67
Tabel 3.4. Rancangan penelitian tafel polarisasi	69
Tabel 3.5. Rancangan penelitian metode EIS	71
Tabel 4.1. Komposisi Baja API5L <i>grade</i> B	73
Tabel 4.2. Hasil kadar tannin	74
Tabel 4.3. Hasil karakterisasi senyawa dominan ekstrak daun cengkeh	77
Tabel 4.4. Gugus Fungsi Tanin Hasil FTIR	79
Tabel 4.5. Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L setelah Perendaman dengan Inhibitor Daun Jambu Biji .82	
Tabel 4.6. Gugus Fungsi Eugenol Hasil FTIR	84
Tabel 4.7. Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L setelah Perendaman dengan Inhibitor Cengkeh	88
Tabel 4.8. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji	96
Tabel 4.9. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh	97
Tabel 4.10. Hasil Analisis Tafel pada Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji	99
Tabel 4.11. Hasil Analisis Tafel pada Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh	100
Tabel 4.12. Data <i>equivalent circuit</i> inhibitor daun jambu biji dalam larutan NaCl 3,5% pH4	102
Tabel 4.13. Data <i>equivalent circuit</i> inhibitor daun cengkeh... dalam larutan NaCl 3,5% pH4	105



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja karbon merupakan salah satu material yang biasa digunakan pada industri petrolem sebagai material untuk transportasi gas alam dari offshore menuju platform refining maupun sebagai *pipeline* dan *flowline*. Hal tersebut disebabkan karena baja karbon memiliki kekuatan dan keuletan yang baik serta harganya yang relatif murah. Namun penggunaan baja karbon juga memiliki kelemahan, salah satu kelemahan penggunaan baja karbon sebagai material *pipeline* ataupun *flowline* ialah baja karbon tidak tahan terhadap korosi. Pada tahun 2003, Saudi Aramco melakukan studi untuk mendefinisikan biaya korosi terhadap produksi minyak dan pemurniannya. Mereka menemukan bahwa 25% biaya perawatan plant gas sweetening dikeluarkan untuk pengendalian korosi, 17% biaya perawatan plant gas fractionation untuk perawatan korosi, 28% biaya perawatan operasi produksi onshore, seangkan untuk offshore dibutuhkan 60-70% biaya perawatan untuk korosi. Berdasarkan data NACE, biaya yang dikeluarkan oleh USA untuk penanggulangan korosi pada distribusi gas sebesar \$5 milyar, eksplorasi dan pemurnian minyak & gas sebesar \$1.4 milyar serta penyulingan minyak sebesar \$3.7 milyar. Jelas terlihat bahwa faktor utama dari masalah yang akan timbul dalam pengolahan gas alam yaitu terjadinya degradasi pada material akibat reaksi elektrokimia lingkungan atau yang lebih dikenal dengan korosi.

Korosi berasal dari bahasa latin "*corrode*" yang berarti perusakan pada logam atau pengkaratan akibat lingkungannya. Korosi adalah suatu proses degradasi material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya proses reaksi kimia dengan lingkungannya. Korosi juga bisa didefinisikan sebagai hasil kerusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduan dengan lingkungannya. (Jones, 1992) Salah satu lingkungan yang paling banyak menjadi penyebab



kegagalan pada material *pipeline* ataupun *flowline* industry minyak dan gas bumi adalah air laut.

Air laut merupakan media yang korosif. Penyebab korosi yang terjadi di air laut antara lain adalah kandungan klorida (Cl^-) yang cukup tinggi dan mikrobakteri yang hidup di laut. Namun, mengingat ketersediaan air yang sangat besar serta kemudahan dalam pemakaian dan pengambilannya, banyak industri-industri yang menggunakannya sebagai penyokong kinerja produksi. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperlambat laju korosi antara lain dengan cara pelapisan permukaan logam, proteksi katodik, penambahan zat tertentu yang berfungsi sebagai inhibitor reaksi korosi.

Penggunaan inhibitor korosi merupakan cara yang paling efektif dalam mencegah korosi karena cara ini relatif murah dan prosesnya sederhana. Inhibitor korosi merupakan suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan sehingga menurunkan laju korosi terhadap logam. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun demikian, pada kenyataannya bahwa bahan kimia sintesis ini merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya lumayan mahal, dan tidak ramah lingkungan, maka sering industri-industri kecil dan menengah jarang menggunakan inhibitor pada sistem pendingin, sistem pemipaan, dan sistem pengolahan air produksi mereka, untuk melindungi besi/baja dari serangan korosi. Untuk itu penggunaan inhibitor yang aman, mudah didapatkan, bersifat biodegradable, biaya murah, dan ramah lingkungan sangatlah diperlukan. (Nataria, 2012)

Beberapa ekstrak tanaman mengandung sejumlah senyawa organik seperti tannins, alkaloids, saponins, asam amino pigment, dan protein yang memiliki kemampuan mengurangi laju korosi (Martinez dan Stern, 2001; Martinez, 2002; Kosar et al., 2005; Oguzie et al, 2006). Tannin dapat diperoleh dari hampir



semua jenis tumbuhan hijau di seluruh dunia baik tumbuhan tingkat tinggi maupun tingkat rendah dengan kadar dan kualitas yang berbeda-beda. Salah satu tanaman yang mengandung tannin adalah daun jambu biji (*Psidium guajava*). Adanya kandungan tannin di dalam daun jambu biji ini menjadikan tanaman ini kemungkinan dapat dipakai untuk menghambat laju reaksi korosi dari baja. Selain tannin, senyawa fenolik juga merupakan salah satu sumber antioksidan yang dapat dimanfaatkan untuk menangkal radikal bebas. Komponen fenolik dapat bertindak sebagai donor elektron merupakan ligan pengikat yang kuat apabila berinteraksi dengan atom logam misalnya Fe, akan membentuk senyawa kompleks/khelasi. Senyawa fenolik ini dapat ditemukan pada bahan-bahan organik, salah satunya adalah daun cengkeh (*Syzigium aromaticum*) yang salah satunya adalah eugenol. Pemanfaatan daun jambu biji dan daun cengkeh pada industry masih terbatas terutama di Indonesia. Daun jambu biji dimanfaatkan sebagai obat diare sedangkan daun cengkeh dimanfaatkan untuk diambil minyak atsirinya dan diperjual belikan secara mentah (*crude oil*) untuk digunakan sebagai minyak urut dan bumbu masakan. Bahkan, ditemukan daun cengkih yang merupakan sisa produksi panen dan sebagai siklus pertumbuhan tanaman cengkih, hanya di biarkan, dibuang bahkan dibakar sehingga terjadi pencemaran udara. (Rorong dkk, 2014)

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh sebagai inhibitor organik yang digunakan pada baja API5L grade B sebagai pipa yang banyak digunakan dalam industry migas, dengan media yang digunakan adalah NaCl 3,5% pH4.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan inhibitor korosi merupakan cara yang paling efektif dalam mencegah korosi karena cara ini relatif murah dan prosesnya sederhana. Oleh karena itu diperlukan inhibitor yang ramah lingkungan dan bersifat *biodegradable*. Beberapa ekstrak tanaman mengandung sejumlah senyawa organik seperti tannins,



alkaloids, saponins, asam amino pigment, dan protein yang memiliki kemampuan mengurangi laju korosi. Salah satu tanaman yang mengandung tannin adalah daun jambu biji (*Psidium guajava*, Linn.). Selain itu, komponen fenolik dapat bertindak sebagai donor elektron merupakan ligan pengikat yang kuat apabila berinteraksi dengan atom logam misalnya Fe, akan membentuk senyawa kompleks/khelasi. Senyawa fenolik ini dapat ditemukan pada bahan-bahan organik, salah satunya adalah daun cengkeh (*Syzigium aromaticum*) yang memiliki senyawa fenolik berupa eugenol.

Berdasarkan permasalahan diatas maka daun jambu biji dan daun cengkeh diuji untuk diteliti :

1. Bagaimana pengaruh ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi baja API 5L *grade* B dalam media NaCl 3,5% pH4
2. Bagaimana cara kerja inhibisi inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh pada baja API5L *grade* B dalam media NaCl 3,5% pH4

1.3 Batasan masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan, antara lain:

1. Material yang digunakan dianggap homogen dan bebas cacat
2. Kehalusan dari permukaan tiap-tiap spesimen dianggap homogen
3. Komposisi lain yang terkandung dalam ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh diasumsikan tidak berpengaruh
4. Perubahan terhadap temperatur, volume, dan pH larutan sepanjang penelitian diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan perumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:



1. Mempelajari efektivitas inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh pada baja API 5L *grade* B dalam media NaCl 3,5% pH4
2. Menganalisa mekanisme inhibisi dari antioksidan pada inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh pada baja API 5L *grade* B dalam media NaCl 3,5% pH4

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan penggunaan daun cengkeh dan daun jambu biji yang selama ini dianggap tidak berguna sebagai inhibitor sehingga dapat memperlambat laju korosi baja
2. Mengurangi dan mendaur ulang sampah daun cengkeh dan daun jambu biji sehingga mempunyai nilai lebih dalam penggunaannya.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumur Minyak

Korosi yang terjadi pada industri minyak dan gas umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yaitu (Aji, 2010):

- Suhu dan tekanan yang tinggi.
- Adanya gas korosif (CO_2 dan H_2S).
- Air yang terproduksi dari dalam sumur.
- Adanya aktifitas bakteri.

Pada industri dan pertambangan migas, sistem perpipaan transportasi dan sumur produksi minyak mentah (*crude oil*) sangat rentan terhadap korosi akibat keberadaan garam-garam anorganik (garam klorida, sulfat, dan karbonat); asam-asam organik dengan berat molekul rendah (asam format, asetat, dan propanoat); serta adanya gas CO_2 dan H_2S yang kadarnya bergantung pada lokasi sumur.

Pada industri dan pertambangan migas, sistem perpipaan transportasi dan sumur produksi minyak mentah (*crude oil*) sangat rentan terhadap korosi akibat keberadaan garam-garam anorganik (garam klorida, sulfat, dan karbonat); asam-asam organik dengan berat molekul rendah (asam format, asetat, dan propanoat); serta adanya gas CO_2 dan H_2S yang kadarnya bergantung pada lokasi sumur. Korosi pada pipa sumur produksi dan transportasi sudah menjadi masalah sangat serius dilihat dari segi ekonomi, lingkungan industri minyak dan gas untuk beberapa dekade. (Wahyuningsih, 2010)

Pada industri minyak bumi mentah dan gas alam, masalah korosi yang terjadi di lapangan biasanya adalah sebagai berikut (Halimatuddahlia, 2003):

1. Down Hole Corrosion

High Fluid level pada jenis pompa di sumur minyak dapat menyebabkan terjadinya stress pada rod bahkan dapat pula terjadi corrosion fatigue. Pemilihan material untuk peralatan bottom hole pump menjadi sangat penting. Pompa harus dapat tahan terhadap



sifat-sifat korosi dari fluida yang diproduksi dan tahan pula terhadap sifat abrasi.

2. *Flowing well*

Anulus dapat pula digunakan untuk mengalirkan inhibitor ke dasar tubing dan memberikan proteksi pada tabung dari kemungkinan bahaya korosi. Pelapisan dengan plastik dan memberikan inhibisi untuk proteksi tubing dapat pula digunakan pada internal tubing surface.

3. *Casing Corrosion*

Casing yang terdapat di sumur-sumur produksi bervariasi dari yang besar sampai yang *consentric acid*. Diperlukan perlindungan katodik untuk external casing. Korosi internal casing tergantung dari komposisi annular fluid.

4. *Well Heads*

Peralatan dari *well heads*, terutama pada well gas tekanan tinggi, sering mengalami korosi yang disebabkan oleh kecepatan tinggi dan adanya turbulensi dari gas.

5. *Flow Lines*

Adanya akumulasi di dalam flow line dapat menyebabkan korosi dan pitting yang akhirnya menyebabkan kebocoran. Internal corrosion di dalam flow line dapat dicegah dengan inhibitor

Hampir semua kerusakan pada bagian dalam jaringan pipa baja karbon disebabkan oleh korosi lokal, korosi jenis mesa, atau korosi pada bagian langit-langit dalam pipa (*top off line corrosion*, TLC). Korosi terlokalisasi ini disebabkan oleh adanya garam-garam klorida dan asam organik. Adanya garam karbonat (FeCO_3) yang menempel pada permukaan pipa baja karbon berupa kerak dapat berfungsi sebagai pelindung terhadap korosi lebih lanjut. Namun demikian, ketika terinisiasi, laju penetrasi korosi jenis ini dapat mencapai puluhan kali lipat dari korosi jenis seragam yang pada umumnya berlaku kurang dari 0.2 mm/th (Wahyuningsih, 2010). Laju korosi maksimum yang diizinkan dalam pipeline adalah 5 mpy (mils per year, 1 mpy = 0,001 in/year), sedangkan normalnya adalah 1 mpy atau kurang.



2.2 Baja

Baja merupakan material yang terbentuk dari paduan dua unsur atau lebih dimana unsur besi merupakan unsur penyusun utama terbesar. Secara umum, komposisi unsur dalam baja akan menentukan sifat baja. Perbedaan ini kemudian dinotifikasi dalam bentuk penamaan tipe baja yang mengacu pada suatu lembaga standarisasi internasional. Adapun kandungan karbon di dalam baja karbon dapat berkisar dari 0.2% hingga sekitar 2.1% berat. Selain unsur karbon, terdapat unsur lainnya yang biasa ditambahkan seperti mangan, krom, vanadium dan tungsten.

Dalam paduan baja, unsur-unsur ini dapat memberikan perubahan sifat dan kualitas baja. Pengaturan kandungan karbon dan unsur tambahan lainnya dapat menghasilkan baja dengan sifat dan kualitas tertentu. Baja karbon rendah dapat memiliki kandungan karbon sebesar 0,05 % berat - 0,30 % berat. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung unsur karbon kira-kira 0,2 % berat - 0,60 % berat. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung unsur karbon sekitar 0,60 % berat sampai dengan 1,4 % berat dan memiliki karakter keras dan kuat dengan keuletan rendah.

Penambahan unsur paduan pada baja dapat memperbaiki sifat kekerasan, kekuatan, ketangguhan, daya tahan terhadap gesekan, sifat magnet dan ketahanan terhadap korosi. Unsur paduan yang meningkatkan kekuatan sambungan las adalah Vanadium, Zirkonium, Sesium, Kobalt, Molibden, Aluminium, Nikel, Mangan dan Tungsten. Unsur mangan dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan abrasi dan kekuatan. Silicon dapat menaikkan kekerasan dan elastisitas tetapi menurunkan kekuatan tarik dan keuletannya. Krom dapat meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan pasivasi berupa oksida yang bersifat protektif pada permukaan baja. Kekuatan tarik dan batas mulur dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur vanadium. Karbida yang terbentuk dengan penambahan Vanadium 0,04 – 0,05 % relatif kuat dan stabil. Penambahan yang berlebihan dapat



membentuk karbida yang tidak larut sehingga dapat menurunkan kekerasan baja. (Fadli, 2011)

2.2.1. Baja API 5L *grade B*

Baja API 5L *grade B* adalah baja yang digunakan untuk perpipaan dan diproduksi berdasarkan standar API (*American Petroleum Institute*). Baja API 5L *grade B* mempunyai kadar karbon sebesar 0,3 % berat (data jurnal *Iscor Flat Steel*) dan tergolong dalam baja karbon sedang. Komposisi kimia dan tes tarik untuk jenis baja API 5L *grade B* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Standar untuk komposisi kimia dan uji tarik baja API 5L GB

Kelas baja (nama baja)	API 5L <i>grade B</i>	
Fraksi massa, berdasarkan pada analisa panas dan analisa umum produk (% maksimum)	C	0,24
	Si	0,40
	Mn	1,20
	P	0,025
	S	0,015
	V (+Nb)	$\leq 0,06$
	Nb (+V)	$\leq 0,06$
	Ti	0,04
	Other (Nb+V)	$\leq 0,06$
% maksimum ekivalen karbon	CE _{IW}	0,43
	CE _{PCM}	0,25
Yield strength, Mpa (Psi)	Min	245 (35.000)
	Maks	450 (65.300)
Tensile strength, MPa (Psi)	Min	415 (60.200)
	Maks	760 (110.200)
Rasio	Maks	0,93
Elongation	% min	persetujuan

(Fadli, 2011)

2.3. Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah proses degradasi suatu material atau hilangnya suatu material baik secara kualitas maupun kuantitas akibat adanya



proses reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. (Jones, 1992). Korosi juga didefinisikan sebagai hasil perusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduan dan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud yang dapat mengakibatkan proses korosi adalah berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll. (Pandyo, 2012)

Industri minyak dan gas alam merupakan salah satu yang berkaitan erat dengan fenomena korosi. Baja karbon sebagai material yang paling umum digunakan sebagai pipa-pipa penyalur produksi yang dialiri beragam fluida dengan tingkat korosifitas tertentu memberikan kondisi lingkungan yang disukai oleh korosi. Penanganan terhadap korosi yang tidak dilakukan dengan baik akan memberikan kerugian yang dapat mencapai angka yang tinggi. Menurut Javaherdashti, (2000) berikut adalah beberapa contoh kerugian yang dapat dialami apabila fenomena korosi sudah memegang peranan dalam proses produksi :

1. Pemberhentian produksi, dikarenakan oleh proses perbaikan material yang tidak dapat beroperasi.
2. Kehilangan produk, dimana produk yang bocor atau tumpah juga dapat memberikan efek bahaya pada lingkungan yang terkontaminasi serta mengurangi nilai keamanan bagi ekosistem yang ada di dalamnya.
3. Berkurangnya efisiensi, apabila akumulasi produk korosi mengganggu sistem kerja instrumen sehingga tidak memberikan performa yang optimal.
4. Kontaminasi, terjadi apabila produk korosi bereaksi dengan fluida yang mengalir di dalamnya khususnya untuk air minum yang akan dikonsumsi.
5. Keselamatan, kegagalan selama proses produksi dapat mengurangi tingkat keselamatan populasi yang berada di sekitar area produksi.

Reaksi korosi menghasilkan oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya. Pada proses korosi reaksi yang berpengaruh adalah reaksi elektrokimia. Korosi elektrokimia biasanya terjadi pada lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah,



dengan berbagai bentuk korosi yang mengikuti mekanisme elektrokimia yaitu terjadi reaksi oksidasi (anodik) dan reduksi (katodik). (Fontana, 1986)

Menurut Jones (1992), proses korosi hanya akan terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi, yaitu:

1. Logam atau bahan

Didalam logam atau bahan itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu :

a. Anoda

Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membantuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut :



b. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 .

- Pelepasan H_2 dalam larutan asam dan netral.

Evolusi hidrogen / larutan asam:



Reduksi air / larutan netral /basa:



- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

Reduksi oksigen / asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa:



- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif





2. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *electroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik.

3. Rangkaian listrik

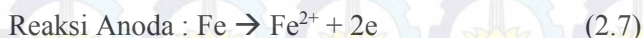
Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

2.4. Faktor-Faktor Terjadinya Korosi

Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya (ASM Handbook, 2003):

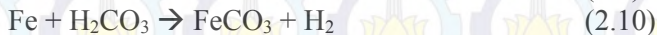
1. Faktor Kandungan Gas dan Padatan Terlarut

- Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild steel aloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :





- Karbondioksida (CO_2), jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



FeCO_3 merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

- Klorida (Cl^-), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya paduan. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.
- Karbonat (CO_3^{2-}), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan logam, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat (SO_4^{2-}), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

2. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.



Pada lingkungan temperatur tinggi, laju korosi yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur rendah, karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat.

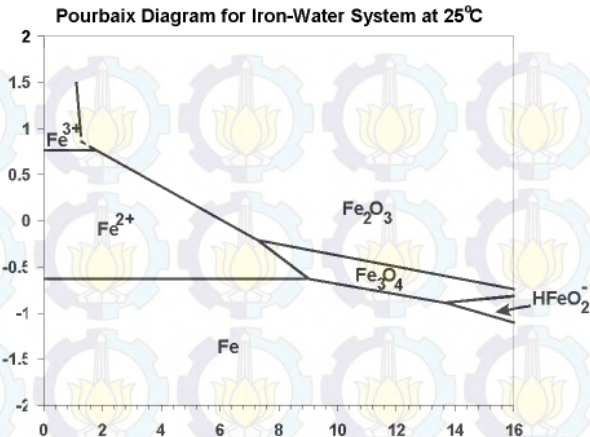
3. Seleksi Material

Pemilihan atau seleksi material merupakan suatu faktor yang cukup mempengaruhi terjadinya proses korosi pada suatu struktur. Dengan pemilihan material yang tepat maka kita dapat meminimalisir terjadinya korosi pada suatu struktur. Sebagai contoh pemilihan material yang tepat untuk suatu struktur *platform* atau anjungan dimana biasanya pada struktur ini menggunakan logam baja karbon. Selain itu adanya penambahan unsur tertentu juga dapat mempengaruhi ketahanan suatu material terhadap adanya proses korosi.

4. Faktor pH

pH dalam proses korosi sangat berpengaruh untuk terjadi apa tidaknya proses korosi. Besarnya pH biasanya dinyatakan dengan angka berkisar antara 0-14. Jika pH berkisar antara 0-7 maka lingkungan bersifat asam sedangkan bila pH berkisar antara 7-14 maka lingkungan bersifat basa. Lingkungan dinyatakan netral bila memiliki pH 7. Dengan melihat diagram Pourbaix korosi dari logam pada pH tertentu dapat diprediksi apakah lingkungan tersebut dapat mengalami korosi atau tidak. Selain itu juga dapat melihat sifat logam pada berbagai kondisi. (Gunaatmaja, 2011).

Untuk menghitung pH pada lingkungan asam dapat dihitung dengan persamaan $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ sedangkan untuk lingkungan basa dapat dihitung dengan persamaan $\text{pH} = 14 - \log [\text{OH}^-]$. Dengan menurunnya pH maka laju korosi akan meningkat. Makin rendah pH maka lingkungan tersebut bersifat makin asam dan kandungan hidrogennya meningkat. Pada pH yang rendah biasanya larutan bersifat lebih konduktif sedangkan pada pH yang tinggi maka mineral terlarut dapat membentuk deposit *scale* pada permukaan logam (Andijani, 2005).



Gambar 2.1. Diagram Pourbaix Fe (Fontana, 1986)

5. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB)

Jenis bakteri yang dapat dijadikan sebagai penyebab terjadinya korosi adalah bakteri yang menghasilkan asam sebagai hasil metabolismenya yang dapat memicu terbentuknya asam sulfida yang dapat meningkatkan reaksi oksidasi logam pada anoda. Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

2.4.1. Pengaruh NaCl terhadap Laju Korosi

Didalam sebuah larutan, suatu garam akan terurai menjadi ion-ion (baik berupa kation maupun anion) pembentuknya. Ion-ion ini akan menjadikan larutan garam mampu menghantarkan muatan listrik yang terdistribusi didalam larutan tersebut (Roberge, 2008). Sehingga didalam larutan garam ini akan menghasilkan nilai konduktivitas yang dimana nilai konduktivitas ini sebanding dengan konsentrasi dari garam yang terlarut didalam larutan. Proses korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia antara logam sebagai anoda dengan lingkungan yang bertindak sebagai katoda.



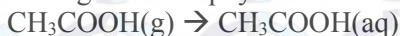
Sehingga konduktivitas dari suatu larutan elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda ini akan menentukan kecepatan dari reaksi elektrokimia tersebut. Larutan dengan konduktivitas yang baik akan mengakibatkan reaksi korosi berlangsung dengan cepat sehingga akan meningkatkan laju korosi.

Dengan adanya ion-ion terlarut didalam larutan garam akan bisa menurunkan agen pereduksi yang ada pada larutan tersebut. Semakin besar nilai konsentrasi NaCl didalam larutan teraerasi maka akan menurunkan kelarutan oksigen dalam larutan tersebut. Ketika konsentrasi NaCl mencapai nilai 3 hingga 3,5 % maka kelarutan optimum oksigen didalam larutan NaCl teraerasi (Jones, 1992).

Pada percobaan sebelumnya, telah membuktikan bahwa laju korosi optimum baja karbon berada pada konsentrasi NaCl 3-3,5%. Semakin tinggi konsentrasi NaCl didalam larutan maka akan semakin besar konduktivitas larutan sehingga meningkatkan laju korosi pada baja. Namun semakin pekat konsentrasi dari NaCl maka akan terjadi penurunan dari kelarutan agen pereduksi sehingga laju korosi akan berkurang. Hal ini disebabkan karena kejenuhan dari larutan NaCl sehingga menimbulkan endapan yang tidak mampu bereaksi lagi yang menghasilkan pengurangan dari agen pereduksi didalam larutan. (Fontana, 1986)

2.4.2 Pengaruh Asam Asetat dalam Korosi

Asam-asam organik tergolong kedalam asam karboksilat yang beratom C kurang dari 6. Senyawa ini mudah menguap dan juga dapat terkondensasi bersama air. Korosi tidak dijumpai kecuali terdapat asam organik bebas dalam jumlah tertentu yang berkesetimbangan dengan fasa uapnya.



$$K = 8.8 \times 10^3 \text{ M.atm}^{-1}$$

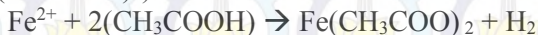


$$K = 1.8 \times 10^{-5} \text{ M}$$

Asam asetat terdisosiasi menurut reaksi berikut :



Dan reaksi antara asam asetat dan baja karbon membentuk besi (II) asetat ($\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2$)



Diyakini bahwa asam asetat berpengaruh dalam proses korosi dalam dua cara. Pertama, asam asetat bertindak sebagai penyedia ion hydrogen dan memiliki efek terbatas pada pH (bertindak sebagai penyangga). Kedua, asam asetat bebas diyakini akan berkurang langsung pada permukaan logam dengan cara yang sama sebagai asam karbonat. Kontribusi terhadap pengurangan ion hydrogen menyebabkan peningkatan arus katodik. Gulbrandsen menemukan bahwa pada temperature 80°C laju korosi rata-rata meningkat dengan meningkatnya konsentrasi asam asetat, dan serangan korosi pola seragam. Keberadaan $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ dapat mengurangi kekuatan pendorong bagi pembentukan lapisan pelindung FeCO_3 , karena mengkonsumsi ion Fe^{2+} dan terbawa ke solusi.

Hedges dkk, menunjukkan bahwa kehadiran ion asetat (CH_3COO^-) dapat meningkatkan laju korosi bahkan jika pH meningkat. Dan kehadiran ion asetat hanya mempengaruhi laju korosi dan bukan mekanisme korosi. Konsentrasi asam asetat berpengaruh signifikan terhadap laju korosi awal. Kehadiran 100 ppm asam asetat meningkatkan laju korosi setelah 1 jam dari 3.8mm/year menjadi 9.1 mm/year. Kehadiran asam asetat meningkatkan laju korosi pada awalnya dan naik ke nilai maksimum. Selain peningkatan konsentrasi asam asetat, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai laju korosi maksimum meningkat juga. Kemudian laju korosi akan menurun seiring dengan hilangnya asam asetat.

Penelitian terbaru mengungkapkan bahwa penyebab utama terkorosinya baja ringan adalah asam asetat bebas dan bukan ion asetat sehingga jelas bahwa asam asetat mempengaruhi laju korosi hanya pada nilai pH yang rendah. Crolet dkk (1983), melaporkan bahwa keberadaan asam asetat bebas, sebagian besar lapisan korosi pada logam bukan lagi FeCO_3 , tapi besi (II) asetat ($\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2$),



yang memiliki kelarutan jauh lebih besar. Menurut Ueda dan Takabe (1998), kehadiran asam asetat secara signifikan meningkatkan laju korosi baik untuk besi murni ataupun baja Cr dibandingkan dengan korosi CO_2 murni.

Menurut Wahyuningsih (2010), Pada pH rendah spesi yang dominan adalah ion CH_3COO^- yang berasal dari garam dan asam lemahnya. Ion-ion tersebut memiliki afinitas lebih kuat terhadap proton dibandingkan dengan ion HCO_3^- , atau dengan kata lain, ion CH_3COO^- lebih reaktif dibandingkan ion HCO_3^- . Pada $\text{pH} > 5$ jumlah asam asetat yang ditambahkan makin sedikit sedangkan ion HCO_3^- relatif tetap sehingga konsentrasi ion HCO_3^- lebih banyak dibandingkan ion CH_3COO^- . Akibatnya, peluang spesi ion HCO_3^- yang dapat bereaksi dengan ion-ion Fe^{2+} membentuk FeCO_3 di permukaan baja karbon makin besar. Disamping itu, produk reaksi ini tidak larut dalam air tetapi menempel pada permukaan baja karbon membentuk lapisan pasif (pasivasi) dan melindungi logam dari korosi lebih lanjut.

Pada $\text{pH} < 5$ laju korosi baja karbon dikendalikan oleh spesi ion-ion CH_3COO^- . Hal ini disebabkan ion asetat lebih mudah bereaksi dengan ion-ion Fe^{2+} pada permukaan baja karbon dibandingkan dengan dengan ion-ion HCO_3^- . Reaksi yang terjadi membentuk $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ yang larut dalam media uji, dan produk korosi tidak membentuk lapisan pelindung pada permukaan baja karbon sehingga korosi baja karbon akan berlangsung sampai semua ion asetat habis bereaksi.

2.5. Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi logam yang mengalami korosi merata ditentukan dengan beberapa metode seperti metode kehilangan berat (*weight loss*), metode perolehan berat (*weight gain*), analisis kimia larutan, teknik gasometri, pengukuran ketebalan, *Electrical resistance probe* maupun teknik elektrokimia.

2.5.1. Metode Kehilangan Berat (*weight loss*)

Metode kehilangan berat adalah metode pengukuran korosi yang paling banyak digunakan. Kupon merupakan lempengan



logam yang ditempatkan di dalam sistem dan dibiarkan untuk terkorosi. Kupon digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui *weight loss* (Jones, 1992). *Corrosion coupons* kemungkinan paling banyak digunakan untuk material konstruksi untuk mendeteksi serangan permanen dari perubahan korosifitas.

Coupons menggambarkan kerusakan korosi selama periode waktu dan hanya digunakan pada kondisi dimana peningkatan laju korosi dapat diukur. Bentuk dan dimensi *coupon* dapat bervariasi sesuai persyaratan pengujian. Sebelum *coupon test* diletakkan pada lingkungan pengujian selama periode tertentu, maka produk korosi yang terbentuk sebelumnya harus dihilangkan. Metode penghilangan produk korosi dapat dilakukan tanpa menyebabkan korosi lebih lanjut. Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut :

$$\text{Laju korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.7)$$

dimana :

K = konstanta (mpy = 3.45×10^6)

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas (gram/cm³)

A = luas permukaan yang terendam (cm²)

T = waktu (jam)

Tabel 2.2. Konstanta Laju Korosi

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per month (ipm)	2.87×10^4
Millimeters per year (mm/y)	8.76×10^7
Micrometers per year (μm/y)	8.76×10^4
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Gram per square meter per hour (g/m ² .h)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$

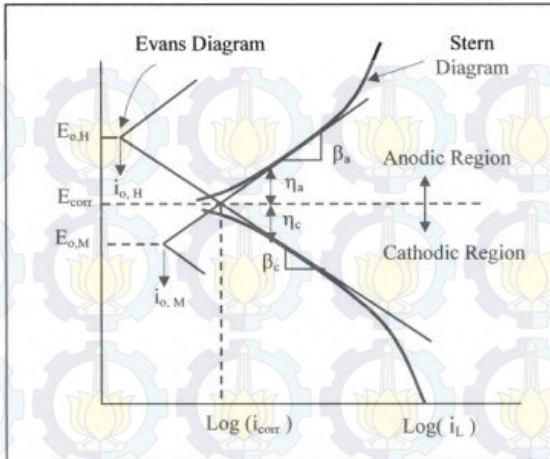


Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

2.5.2. Polarisasi Tafel

Polarisasi dapat diartikan sebagai perubahan potensial dari keadaan seimbang. Ketika suatu logam tidak berada pada kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antar keduanya bisa disebut polarisasi (Theretewey, 1991). Perbedaan potensial antara katoda dan anoda sangat penting untuk menggambarkan terjadinya korosi. Tetapi hal ini belum dapat menggambarkan laju korosi yang sebenarnya. Laju korosi yang terjadi juga dinyatakan tergantung pada kerapatan arus yang muncul. Semakin tinggi kerapatan arus, maka laju korosi semakin hebat. Korosi dapat digambarkan dengan kurva tegangan fungsi arus, yang selanjutnya disebut kurva polarisasi. Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik. Apabila potensial pada permukaan logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik.

Pada gambar 2.2 menjelaskan bahwa $E_{o,M}$ dan $E_{o,H}$ adalah open sirkuit potensial untuk logam dan hidrogen. Kemudian nilai $i_{o,H}$ dan $i_{o,M}$ adalah perubahan kerapatan arus dan i_L adalah kerapatan arus terbatas. Untuk elektroda yang *reversible*, Evans diagram dapat digunakan untuk menentukan titik korosi dimana garis antara katodik hidrogen dan anodik logam berpotongan. Disisi lain, perilaku elektrokimia yang tidak *reversible* ditunjukkan oleh katodik dan anodik dari Stern Diagram yang juga digunakan untuk menentukan titik korosi dengan ekstrapolasi sisi linear kedua kurva hingga berpotongan.



Gambar 2.2. Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel

Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \quad (2.8)$$

dimana:

B = Stern-Geary constant (V)

b_a = slope of anodic Tafel reaction (V/decade)

b_c = slope of cathodic Tafel reaction (V/decade)

Setelah dilakukan perhitungan i_{cor} dengan persamaan dibawah ini.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \quad (2.9)$$

dimana:

i_{cor} = corrosion current density ($\mu A/cm^2$)

R_p = polarization resistance (Ωcm^2)

Kemudian dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \frac{i_{cor}}{\rho} EW \quad (2.10)$$



dimana:

CR = corrosion rate (mpy)

$K_1 = 0,1288$ (mpy g/ $\mu\text{A cm}$)

ρ = densitas logam (g/cm³)

EW = equivalent weight (g/mol)

Setelah nilai *corrosion rate* diperoleh, maka mencari nilai *mass loss rate* dengan persamaan berikut ini.

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \quad (2.11)$$

dimana:

MR = mass loss rate (g/m² d)

$K_2 = 8,954 \times 10^{-3}$ (g cm²/ $\mu\text{A m}^2 \text{ d}$)

2.6. Pengujian *Electrochemichal Impedance Spectroscopy (EIS)*

Spektroskopi impedansi elektrokimia adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku korosi pada suatu elektroda dengan mengamati karakterisasinya. Karakterisasi elektroda yang dimaksud adalah untuk menentukan ketahanan polarisasi (R_p), laju korosi (CR) dan mekanisme elektrokimia. Penggunaan metode ini berdasarkan model dari proses korosi oleh sirkuit elektrik. EIS bekerja berdasarkan respon terhadap sirkuit yang setara untuk *interface* elektroda/larutan. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, R, kapasitansi, C, dan induktansi, L. Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z). Impedansi adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus dengan asumsi bahwa potensial yang dibangkitkan sinusoidal.

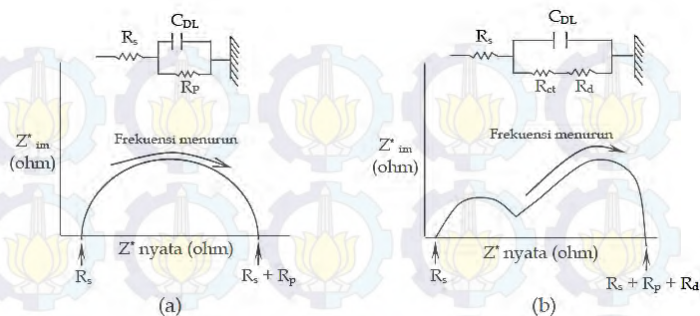
Penggunaan metode perata-rataan sinyal dapat memperbesar tingkat ketepatan dan ketelitian yang diinginkan, dengan lebar jangkauan frekuensi ($10^6 - 10^{-4}$ Hz) memungkinkan dilakukan penelitian yang terjadi pada proses-proses antarmuka pada daerah yang lebar. Keistimewaan inilah yang menjadi keunggulan



karakteristik kinerja teknik eksperimen ranah waktu, oleh karena itu EIS menjadi suatu metode pengukuran yang berkembang pesat untuk penyelidikan mekanisme reaksi antarmuka dan untuk penentuan laju korosi secara in situ. Selain itu keunggulan EIS adalah dapat digunakan untuk mengidentifikasi terjadinya pasifasi dan lapisan selaput berpori pada permukaan logam serta mampu menganalisis secara non-destruktif pada berbagai jenis baterai.

Spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS) merupakan suatu teknik analisis in situ yang digunakan untuk penyelidikan proses elektrokimia dan sistem korosi. Pada prinsipnya EIS dapat menentukan sejumlah parameter yang berkaitan dengan kinetika elektrokimia, termasuk di dalamnya tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), kapasitansi lapisan rangkap (double layer), (CDL).

Inti dari pendekatan dengan teknik pengukuran spektroskopi impedansi elektrokimia berdasarkan pengertian bahwa: arus listrik yang mengalir melintasi suatu antarmuka logam dan larutan dipandang sebagai bagian dari reaksi elektrokimia yaitu proses transfer muatan dan bagian dari proses yang membentuk antarmuka bermuatan. Oleh karena itu suatu sistem antarmuka elektroda / larutan dapat dipandang sebagai susunan komponen listrik yang terdiri atas sejumlah resistor dan kapasitor listrik. Gambar 2.3 menggambarkan model sirkuit sistem elektrokimia logam yang tercelup dalam larutan elektrolit. Gambar 2.3 (a) menunjukkan pada antarmuka logam dengan larutan terdapat tahanan polarisasi, R_p , sedangkan pada Gambar 2.3 (b) menunjukkan adanya hambatan transfer muatan, R_{ct} , dan hambatan difusi, R_d , paralel dengan lapisan rangkap listrik yang dinyatakan oleh adanya kapasitansi lapis rangkap, CDL dan secara seri dengan hambatan listrik larutan yang dinyatakan sebagai R_s . Spektrum EIS berupa aliran Nyquist terlukiskan di bawah masing – masing sirkuit ekivalen.



Gambar 2.3. Aliran Nyquist. (a) Spektrum EIS aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik, dan (b) Aluran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan proses difusi. (Bundjali, 2005).

Impedansi dari sel elektrokimia, Z , ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm seperti di bawah ini. Dengan ω adalah frekuensi radial atau kecepatan sudut yang diterapkan (rad sec^{-1}).

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \quad (2.12)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \quad (2.13)$$

dimana :

$E(t)$ = Potensial yang bergantung waktu (V)

$I(t)$ = Arus yang bergantung waktu (A)

ω = $2\pi f$ = frekuensi angular (Hz)

f = frekuensi sinyal (Hz)

$Z'(\omega), Y'(\omega)$ = bagian real

$Z''(\omega), Y''(\omega)$ = bagian imajiner

t = waktu (s)

j = $-1^{1/2}$

j^2 = -1

Untuk mengetahui besarnya efisiensi inhibisi maka digunakan persamaan berikut ini.



$$\%EI = \frac{R_{p(inh)} - R_{p(uninh)}}{R_{p(inh)}} \times 100 \quad (2.14)$$

dimana:

$R_{p(inh)}$ = hambatan polarisasi inhibitor (Ω)

$R_{p(uninh)}$ = hambatan polarisasi tanpa inhibitor (Ω)

2.7. Perlindungan Korosi

Korosi adalah sebuah proses yang berjalan secara alami dan tidak berhenti selama suatu material masih terekspos dengan lingkungan yang bersifat korosif. Namun bukan berarti korosi tidak dapat ditanggulangi. Kerugian yang diakibatkan oleh proses korosi dapat diminimalisir dengan menggunakan metode – metode yang tepat sesuai dengan kondisi dari sistem yang akan dilindungi. Menurut Jones (1992), metode – metode tersebut adalah

2.7.1. Proteksi Katodik (*Impressed Current*)

Metode arus tanding diaplikasikan dengan memberikan arus listrik searah dari sumber luar, untuk melindungi suatu struktur logam yang saling berdekatan. Pada prinsipnya, metode ini dilakukan dengan memberikan suplai elektron kepada struktur yang diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron. Proses ini menggunakan penyearah (rectifier) dengan kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda inert.

2.7.2. Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Metode ini menggunakan prinsip galvanik, dimana suatu logam yang akan dilindungi, misalnya pipa, dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat anodik (lebih negatif dibandingkan pipa) sesuai dengan deret galvanik. Dengan demikian, pipa akan menjadi katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Anoda korban akan terus-menerus termakan oleh korosi dan harus diganti secara periodik.



2.7.3. Coating

Coating adalah proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, setelah melalui proses solidifikasi. Adanya lapisan pada permukaan logam akan meminimalkan kontak logam dengan lingkungannya, yang kemudian akan mencegah proses korosi pada logam. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah dengan cat. Cat yang digunakan biasanya merupakan bahan organik yang tidak dapat larut yang disebut pigmen, dengan partikel pengangkut cair. Pigmen biasanya terdiri dari logam oksida TiO_2 , PbO_3 , Fe_2O_3 , dan lainnya. Sementara zat pengangkutnya berupa minyak nabati yang jika mengalami kontak dengan udara akan teroksidasi dan terpolimerisasi menjadi zat padat.

2.7.4. Material selection dan design

Prinsip dasar metode pemilihan material adalah memilih material sesuai dengan kondisi lingkungan dimana material tersebut akan diaplikasikan. Metode ini erat kaitannya dengan potensial galvanik dari logam yang digunakan.

2.7.5. Inhibitor

Inhibitor dapat didefinisikan sebagai sebuah substansi yang ketika ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil ke dalam sebuah lingkungan, akan menurunkan sifat kekorosifan dari lingkungan tersebut (Jones, 1992). Pada aplikasinya inhibitor akan sangat berguna jika digunakan untuk sebuah sistem yang bersirkulasi sebab sistem yang bersifat tunggal (tidak bersirkulasi) akan menggunakan banyak inhibitor sehingga dikatakan tidak efisiensi dari sisi ekonomi (Fontana, 1986).

Secara umum inhibitor memiliki mekanisme kerja seperti berikut ini (Andijani, 2005):

1. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak terlihat dengan mata



biasa namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logam.

2. Melalui pengaruh lingkungan (seperti pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak dan lapisan dapat diamati dengan mata telanjang.
3. Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia dan lalu mengalami adsorpsi dari produksi korosi untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan
4. Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Inhibitor korosi adalah signifikasi utama dalam perlindungan logam. Agar bisa digunakan efektif, inhibitor harus sesuai dengan lingkungan tertentu, ekonomis untuk operasi perlakuan yang disetujui, dan memberikan kontribusi efek penurunan yang tinggi. Inhibitor korosi menurunkan laju korosi dengan berbagai cara, seperti yang dinyatakan Rani & Basu, (2012), diantaranya: adsorpsi ion/molekul ke permukaan logam, meningkatkan atau menurunkan reaksi anodic dan/atau katodik, menurunkan laju difusi reaktan menuju permukaan logam, menurunkan ketahanan elektrik permukaan logam, dan memiliki keuntungan aplikasi *in situ*.

Efektifitas inhibitor telah ditentukan dengan berbagai cara dan kesimpulannya telah ditarik untuk menentukan faktor-faktor kontribusi terhadap efektifitas. Beberapa konsep umum diantaranya ukuran molekul organik, ikatan aromatik dan/atau konjugasi, panjang rantai karbon, kekuatan ikatan dengan substrat logam, tipe dan jumlah ikatan atom atau grup dalam molekul, kemampuan *layer* menjadi padat/ atau jaring silang, dan kemampuan untuk kompleks dengan atom sebagai padatan dengan kisi logam.

Adapun persamaan untuk menghitung efisiensi inhibisi dijelaskan berikut ini.



$$IE (\%) = \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}} \times 100 \quad (2.15)$$

dimana:

$CR_{uninhibited}$ = laju korosi tanpa inhibitor

$CR_{inhibited}$ = laju korosi dengan inhibitor

Snavely & Hackerman (1970), membagi inhibitor dalam beberapa kelas, yaitu: *passivators*, *precipitators*, *vapor phase*, *cathodic*, *anodic*, *neutralizing*, dan *absorbants*. Sedangkan inhibitor korosi organik/adsorpsi dapat diklasifikasikan sebagai anodik, katodik, atau keduanya. Klasifikasi inhibitor organik/adsorpsi dilihat dari reaksi pada permukaan logam dan bagaimana potensial logam dipengaruhi.

Secara garis besar jenis-jenis inhibitor korosi dibagi berdasarkan mekanisme inhibisinya, yaitu sebagai berikut (Roberge, 2008):

a. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik bekerja pada anoda dengan cara menghambat terjadinya reaksi anodik. Inhibitor jenis ini bekerja dengan mengubah sifat permukaan logam menjadi pasif. Anorganik anion seperti kromat dan nitrit akan membentuk sebuah senyawa ionik yang akan menempel pada permukaan dimana kemudian lapisan ini akan menjadi penghambat dari reaksi korosi (Jones, 1992).

Sayangnya inhibitor jenis anodik ini memiliki kelemahan yaitu kadar inhibitor yang terkandung dalam lingkungan harus terjaga dengan stabil. Sebab apabila kandungannya kurang maka akan dapat mempercepat laju korosi semakin cepat dan membuat terbentuknya *pitting*. Terdapat dua jenis inhibitor anodik yaitu (Roberge, 2008):

1. *Oxidizing ion* yang bisa membentuk perlindungan pada logam tanpa membutuhkan oksigen, contoh inhibitor jenis ini adalah inhibitor berbasis nitrat, kromat, dan nitrit.
2. *Non-Oxidizing ion* adalah jenis inhibitor anodik yang membentuk lapisan pasif pada permukaan anoda dengan membutuhkan kehadiran oksigen seperti *osshphate*, *tungsten*, *molybdate*.



b. Inhibitor Katodik

Keterbalikan dari inhibitor anodik, inhibitor jenis ini adalah inhibitor yang bekerja dengan cara memperlambat laju korosi melalui penghambatan proses yang terjadi di katodik. Penghambatan reaksi yang terjadi pada katoda adalah dengan cara membentuk presipitasi di permukaan material agar menghasilkan suatu tahanan dan impedansi di permukaan katoda, atau dengan cara memperkecil kemampuan difusi zat yang akan tereduksi. Terutama dengan menurunkannya kadar oksigen yang terlarut (Fontana, 1986). Apabila reaksi katodik ini dapat dihambat, maka hal yang serupa juga terjadi pada reaksi anodik sebab reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda berjalan setimbang.

Inhibitor katodik terbagi atas beberapa jenis berdasarkan mekanisme inhibisi-nya yaitu :

1. Racun katodik (*Cathodic Posions*), yang dapat menghambat reaksi evolusi hidrogen.
2. Katodik Presipitasi (*Cathodic Precipitate*) seperti Natrium, Magnesium, Zinc yang membentuk lapisan presipitat oksida di permukaan material.
3. *Oxygen Scavenger* yang menghambat laju korosi dengan cara mengurangi kadar oksigen dalam larutan yang bisa membuat efek depolarisasi contoh dari jenis oxygen scavenger ini antara lain *hydrazine*, DEHA, Natrium sulfit, dan *ascorbic acid*.

Defisiensi inhibitor katodik dalam sebuah lingkungan tidak akan menyebabkan terjadinya serangan *pitting* seperti yang sering sekali terjadi pada inhibitor anodik. Laju korosi akan menurun secara seragam pada permukaan seiring dengan turunnya konsentrasi dari inhibitor katodik ini (Jones, 1992).

c. Mixed-Type Inhibitor

Inhibitor tipe gabungan mempengaruhi *branch* anodik dan katodik pada kurva polarisasi. Substansi organik berfungsi sebagai inhibitor tipe gabungan. Inhibitor organik teradsorpsi pada permukaan logam menyediakan *barrier* terhadap disolusi di anoda dan *barrier* reduksi oksigen pada site katoda, seperti ditunjukkan



pada Gambar 2.5 grup yang berfungsi *protective* pada inhibitor organik gabungan dapat berupa *amino*, *carboxyl*, dan *phosphonate*.

d. Inhibitor Presipitasi

Inhibitor jenis ini adalah inhibitor yang memiliki sifat dapat membentuk *presipitat* dipermukaan logam. Contoh dari inhibitor jenis ini adalah silika dan fosfat. Contoh lain dari proses inhibitor presipitasi ini adalah pada lingkungan *hard water* yaitu keadaan dimana banyak terkandung ion kalsium dan magnesium yang bisa menghambat laju korosi akibat kalsium yang mengendap membentuk presipitat dipermukaan logam (Roberge, 2008). Inhibitor jenis ini terkadang membutuhkan oksigen untuk mendapat reaksi inhibisi yang baik.

e. Inhibitor Mudah Menguap (*Volatile Corrosion Inhibitors*)

Inhibitor jenis ini bekerja pada ruangan tertutup dengan cara meniupkannya dari tempatnya diuapkan menuju ke lingkungan yang korosif. Inhibitor ini setelah menyentuh permukaan logam yang akan dilindungi lalu terkondensasi menjadi garamnya dan memberikan ion yang bisa melindungi logam dari korosi. Kemampuan dan efektifitas dari inhibitor jenis ini tergantung dari kemampuan menguap campuran inhibitor tersebut. Untuk perlindungan yang cepat diperlukan inhibitor yang kemampuan uapnya tinggi. Namun untuk perlindungan yang lebih lambat namun untuk jangka panjang dibutuhkan inhibitor yang mampu uapnya rendah (Roberge, 2008).

2.8. Inhibitor Organik

Penggunaan inhibitor korosi adalah cara yang efektif untuk mengisolir logam dari bahan korosi untuk mencegah korosi elektrokimia (Souza dan Spinelli, 2009). Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik, namun beberapa diantara inhibitor tersebut beracun, *non-biodegradable*, dan mahal untuk disintesis (Abiola dan Tobun, 2010). Isu keamanan dan lingkungan inhibitor korosi yang muncul di industri selalu menjadi kekhawatiran global. Inhibitor ini dapat menyebabkan kerusakan sementara atau permanen yang



menyerang sistem organ, ginjal, atau hati, mengganggu proses biokimia, atau mengganggu sistem enzim dalam tubuh (Raja, 2008). Berdasarkan hal-hal tersebut, maka penelitian diarahkan untuk menemukan sumber baru inhibitor korosi terutama dari bahan alami mulai banyak dilakukan. Bahan alam dipilih sebagai alternatif karena bersifat aman, mudah didapatkan, bersifat *biodegradable*, biaya murah, dan ramah lingkungan (Ostovari, 2009).

Inhibitor organik mampu untuk memunculkan efek katodik dan juga anodik. Mekanisme dari inhibitor jenis ini adalah dengan cara membentuk lapisan tipis yang bersifat hidrofobik sebagai hasil adsorpsi ion inhibitor oleh permukaan logam. Inhibitor organik ini membentuk lapisan protektif yang teradsorpsi di permukaan logam dan menjadi penghalang antara logam dan elektrolit sehingga reaksi reduksi dan oksidasi pada proses korosi dapat terhambat. Contoh dari inhibitor organik ini adalah gugus kimia yang bisa membentuk ikatan *co-ordinates* dengan logam seperti *amino* ($-NH_2$), *carboxyl* ($-COOH$), dan *phosphonate* ($-PO_3H_2$) (Andijani, 2005). Reaksi adsorpsi pada saat pembentukan lapisan yang protektif ini dipengaruhi oleh panas dan tekanan. Inhibitor organik akan terabsorpsi sesuai muatan ion-ion inhibitor dan muatan permukaan. Kekuatan dari ikatan absorpsi merupakan faktor penting bagi inhibitor dalam menghambat korosi.

2.8.1. Mekanisme Inhibisi secara Adsorpsi

Penyerapan suatu zat oleh zat lain disebut sorpsi. Ada dua jenis sorpsi, yaitu absorpsi dan adsorpsi. Pada adsorpsi, zat yang diserap hanya terdapat pada bagian permukaan zat penyerap, sedangkan pada absorpsi, zat atau ion yang diserap masuk ke bagian dalam zat penyerap. Adsorpsi semata-mata hanya suatu efek permukaan, sedangkan dalam absorpsi, zat cair dan gas yang diabsorpsi menembus kedalam ruang - ruang kapiler dari zat pengabsorpsi. Ada dua jenis komponen yang terlibat dalam adsorpsi, yaitu zat terserap (adsorbat) dan zat penyerap (adsorben).



Ada tiga cara yang dilakukan inhibitor teradsorpsi terhadap permukaan logam yaitu:

- a. Pembentukan penghalang secara fisika atau kimia
- b. Isolasi langsung situs-situs anodik dan katodik
- c. Berinteraksi dengan antarmediasi reaksi korosi

Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi pada permukaan logam untuk membentuk lapisan senyawa kompleks. Namun dalam adsorpsi terbagi menjadi 3 mekanisme yaitu (Roberge, 2008) :

1. *Physical adsorption*

Mekanisme ini terbentuk hasil dari interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor dengan muatan negatif. Begitu juga dengan sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang atau rusak dari permukaan logam.

2. *Chemisorption*

Mekanisme ini terbentuk dari transfer atau membagi muatan antara molekul dari inhibitor dengan permukaan logam. Jenis adsorpsi ini sangat efektif karena sifatnya tidak bolak-balik namun dalam pembentukannya berjalan lebih lambat.

3. *Film Forming*

Mekanisme jenis ini dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit, sifat bawaan dari logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka logam-larutan. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua dari jenis adsorpsi di atas yang berjalan simultan. Sebagai contoh, adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl adalah kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi (NACE, 1973).



Tabel 2.3. Perbedaan fisisorpsi dan kemisorpsi (Firmansyah, 2011)

	Fisisorpsi	Kemisorpsi
Tipe interaksi	Molekul terikat secara <i>Van de Waals</i> atau gaya elektrostatik	Molekul terikat secara ikatan kimia dengan terjadinya transfer atau berbagi muatan
Reversibilitas	Adsorbat mudah dihilangkan dengan pelarut pembersih	Adsorpsi tidak dapat kembali, lebih kuat
Energi	Panas adsorpsi rendah <40 kJ/mol	Panas adsorpsi tinggi >40 kJ/mol
Kinetika	Proses adsorpsi berlangsung cepat	Proses adsorpsi lambat
Spesifitas	Bersifat tidak spesifik atau tidak dipengaruhi identifikasi permukaan	Interaksi spesifik, sangat bergantung pada identifikasi permukaan

Kemampuan inhibisi korosi dari senyawa karbon tergantung pada sifat adsorpsi dan konsentrasi inhibitor teradsorpsi dalam melindungi permukaan logam dari media korosif, dan atau memodifikasi reaksi elektroda dari pelarutan logam pada proses anodik. Adanya adsorpsi senyawa organik pada permukaan elektroda memberikan informasi tentang lapis rangkap listrik, kinetika transfer elektron, dan peran antarmedia dalam mekanisme inhibisi dari proses elektroda seperti pada sintesis elektroorganik dan elektroplating. Adsorpsi sangat tergantung pada sifat fisika dan kimia dari molekul inhibitor, seperti gugus fungsi, faktor sterik, sifat aromatis, rapat elektron atom donor, dan karakter orbital π dari donor elektron. (Firmansyah, 2011)



2.8.2. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir merupakan model adsorpsi paling sederhana. Dalam isoterm Langmuir, adsorpsi yang terjadi adalah kemisorpsi dan interaksi antara adsorbat dengan adsorbat diabaikan (Masel, 1996: 247).

Langmuir mengasumsikan (Mc Cash, 2001:73) bahwa:

1. Adsorpsi terjadi pada situs yang spesifik dan semua situs adalah identik.
2. Energi adsorpsi tergantung pada banyaknya situs yang tertutupi.
3. Hanya ada satu lapisan adsorbat yang menutup setiap situs dan setelah semua situs tertutup maka adsorpsi akan berakhir (adsorpsi *monolayer*/lapis tunggal).

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi. Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat dituliskan sebagai berikut.

Untuk mengetahui derajat surface coverage sebagai hubungan fraksi molekulnya, maka digunakan persamaan berikut.

$$\theta = \frac{IE\%}{100} \quad (2.16)$$

dimana:

θ = derajat surface coverage

IE% = efisiensi inhibitor (%)

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (2.17)$$

$$K_{ads} = \frac{1}{55,5} \exp\left(\frac{-\Delta G^0}{RT}\right) \quad (2.18)$$

dimana:

C = konsentrasi inhibitor (mg/L)

K_{ads} = konstanta kesetimbangan adsorpsi

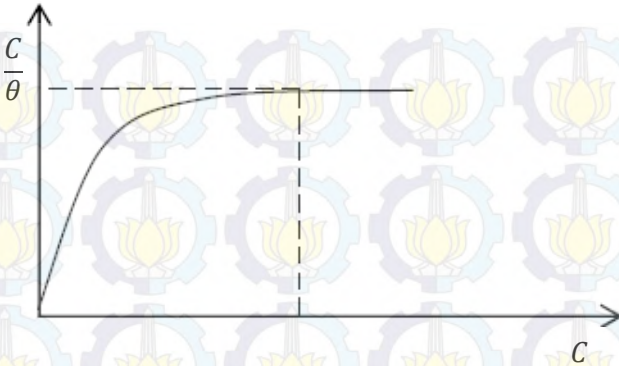
θ = derajat surface coverage

R = konstanta Gas Ideal (8.314 J/mol K)

T = temperatur (K)



ΔG^0 = Standart Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol)

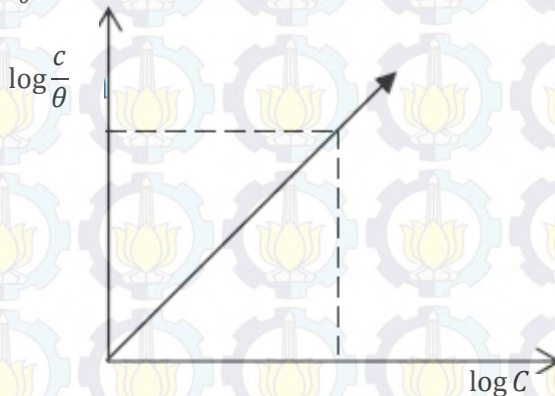


Gambar 2.4. Kurva isotherm adsorpsi Langmuir

2.8.2. Isotherm Adsorpsi Freundlich

Isotherm Freundlich menggambarkan adsorpsi fisik. Permukaan adsorben diasumsikan memiliki situs yang heterogen dan hanya situs yang identik dengan adsorbat yang dapat tertutupi (Lowell dan Shields, 1984). Persamaan Isotherm Freundlich dituliskan sebagai berikut (Adamson, 1997):

$$\text{Log} \left(\frac{C}{\theta} \right) = \log k + 1/n \log c \quad (2.19)$$



Gambar 2.5. Kurva isotherm adsorpsi Freundlich



2.9. Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticus*)

Menurut Syamsuhidayat dan Hutapea (1991), klasifikasi tanaman cengkeh adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6. Daun cengkeh

Divisi : *Spermatophyta*
Sub divisi : *Angiospermae*
Kelas : *Dicotyledoneae*
Sub kelas : *Monochlamydae*
Bangsa : *Caryophyllales*
Suku : *Caryophyllaceae*
Famili : *Myrtaceae*
Spesies : *Syzygium aromaticum* (L.) Meer. & Perry

Cengkeh (*Eugenia caryophyllata*) merupakan tanaman evergreen yang tumbuh dengan ketinggian bervariasi antara 10 – 20 m. Tanaman cengkeh terdiri dari batang, daun, dan cengkeh itu sendiri. Setiap minggu dapat terkumpul daun kering cengkeh 0.96 kg/pohon. Daun cengkeh mengandung 15-20% essential oil, 13% tannin, 10% fixed oil, dan 6-12% kandungan ekstrak yang tidak esensial.

Bila dilihat dari faktor protektif yang telah diuji, maka cengkeh mempunyai aktivitas antioksidan yang tinggi (Fardiaz *et al.* 1992).



Tingginya aktivitas antioksidan cengkeh ini diduga karena cengkeh mempunyai kadar asam lemak yang tidak jenuh yang tinggi sehingga membentuk antioksidan alami untuk melindunginya. Kadar asam lemak linoleat, linolenat, dan eikosa tetraenoat dari cengkeh masing-masing adalah sebesar 6.01%, 8.5%, dan 12.13%. Diperkirakan senyawa yang bertanggung jawab atas besarnya aktivitas antioksidan cengkeh adalah eugenol (Chipault 1966 diacu dalam Fardiaz *et al.* 1992). Senyawa eugenol mempunyai aktivitas farmakologi sebagai analgesik, antiinflamasi, antimikroba, antiviral, antifungal, antiseptik, antispasmodik, antiemetik, stimulan, anestetik lokal sehingga senyawa ini banyak dimanfaatkan dalam industri farmasi (Pramod *et al.*, 2010; Jirovetz, 2010). Selain itu, minyak esensial pada kuncup bunga cengkeh (*Eugenia caryophyllus*) digunakan sebagai anastesia local (Khalaf *et al.*, 2007).

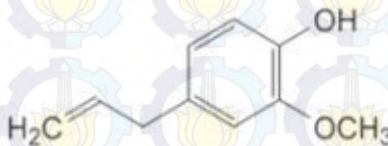
2.9.1. Eugenol pada Daun Cengkeh

Eugenol adalah sebuah ikatan allyl ($C_{10}H_{12}O_2$) atau nama lainnya adalah 2-methoxy-4-(2-propenyl) phenol dan merupakan anggota dari Allyl benzene. Eugenol reaktif terhadap basa kuat khususnya NaOH dan KOH. Eugenol berupa zat cair berbentuk minyak tidak berwarna atau sedikit kekuning-kuningan. Eugenol dapat larut dalam alkohol, kloroform, eter dan sedikit larut dalam air, berbau tajam minyak cengkeh, berasa membakar dan panas di kulit. Eugenol memiliki titik didih $256^{\circ}C$, titik leleh $-9^{\circ}C$, titik nyala $104^{\circ}C$, tekanan uap 10 mmHg pada $123^{\circ}C$, densitas 1,064 - 1,068 g/mL, berat molekul 164,20 gr/mol dan indeks bias 1,541 pada $20^{\circ}C$.

Eugenol adalah salah satu komponen yang terdapat dalam minyak cengkeh yang kadarnya antara 83-95%. Eugenol dapat diisolasi dari minyak cengkeh yang berasal dari bunga, tangkai, dan daun cengkeh. dengan rata-rata hasil sebagai berikut bunga cengkeh 17% (eugenol 93%), tangkai cengkeh 6% minyak (eugenol 83%), dan daun cengkeh menghasilkan minyak 2% (eugenol 70%-80%) (Farrel 1985; Nurdin *et al.* 2001). Berdasarkan

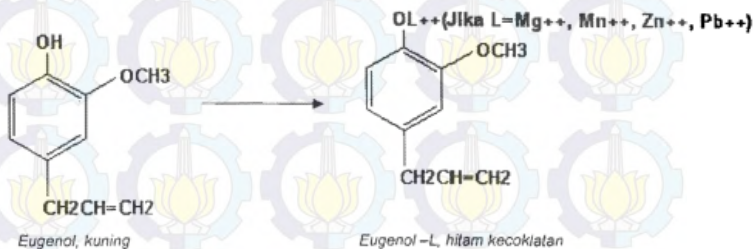


data di atas disimpulkan bahwa sumber minyak cengkeh dari daunlah yang paling murah dan ekonomis (Nurjannah *et al.* 1997; Nurdin *et al.* 2001).



Gambar 2.7. Struktur kimia eugenol

Senyawa eugenol merupakan komponen utama yang terkandung dalam minyak cengkeh (*Syzygium aromaticum*) dengan kandungan dapat mencapai 70- 96%. Dalam senyawa eugenol terkandung beberapa gugus fungsional, yaitu alil (-CH₂-CH=CH₂), fenol (OH) dan metoksi (-OCH₃). Gugus tersebut memungkinkan eugenol menjadi bahan dasar sintesis berbagai senyawa lain yang bernilai lebih tinggi seperti isoeugenol, eugenol asetat, isoeugenol asetat, benzyl eugenol, benzil isoeugenol, metil eugenol, eugenol metil eter, eugenol etil eter, isoeugenol metil eter, vanilin dan sebagainya. Senyawa eugenol serta senyawa turunannya tersebut mempunyai berbagai manfaat dalam berbagai industri, seperti industri farmasi, kosmetika, makanan, minuman, rokok, pestisida nabati, perikanan, pertambangan, kemasan aktif dan industri kimia lainnya. (Towaha, 2012)



Gambar 2.8. Reaksi eugenol dengan logam (Marwati, 2005)



Eugenol murni yang berwarna kuning (Sastrohamidjojo, 2002) dapat mengikat logam (L) menjadi eugenol-L dengan posisi logam (L) terikat pada posisi gugus OH (Holde, 1985) sehingga gugus OH dari eugenol berubah menjadi OL. Dengan adanya kompleks eugenol-L maka minyak berwarna hitam kecoklatan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8. Timbulnya warna hitam kecoklatan pada minyak daun cengkeh merupakan warna gabungan dari kompleks eugenol-Fe, eugenol-Mg, eugenol-Mn, eugenol-Zn dan eugenol-Pb (sesuai dengan hasil analisis dengan AAS, bahwa pengotor minyak daun cengkeh yaitu Fe, Mg, Mn, Zn dan Pb). Logam Fe diketahui merupakan penyebab warna coklat atau ungu jika berhubungan dengan minyak daun cengkeh (EOA, 1975). Logam Mn mempunyai kemampuan untuk membentuk warna merah anggur (Jingxuan et al., 1982), hijau (Dardenne et al., 1999). Logam Mg mempunyai kemampuan membentuk warna biru (Sigh dan Majumdar, 1997). Pb merupakan logam berwarna coklat kehitaman (Darmono, 1995). Zn dapat menimbulkan warna karat (Muller et al., 1997). Dengan demikian maka gabungan dari kemungkinan warna yang dapat ditimbulkan dari logam-logam tersebut, maka warna yang dihasilkan dari kompleks eugenol-logam menjadi hitam kecoklatan.

Eugenol yang merupakan kandungan utama dari minyak cengkeh juga telah diteliti sebagai inhibitor. Menurut Hakima (2005), meneliti inhibisi dari eugenol terhadap material titanium nickel dalam *physiological* media. Pengukuran laju korosi dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan *weight loss* dan linear polarisasi dengan variasi penambahan konsentrasi inhibitor yaitu 1×10^{-6} M, 5×10^{-6} , dan 1×10^{-5} M. Berdasarkan hasil pengujian *weight loss*, efisiensi terbesar yaitu 83 % didapatkan pada konsentrasi 1×10^{-5} M. Pengujian ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor meningkatkan efisiensi inhibisi dari inhibitor. Hasil polarisasi menunjukkan bahwa tahanan dari polarisasi meningkat seiring dengan kehadiran eugenol. Pengujian ini menghasilkan laju korosi dalam setiap penambahan inhibitor.



Pada penambahan dengan konsentrasi 1×10^{-5} M menghasilkan efisiensi 99,23 %.

2.10. Daun Jambu Biji (*Psidium guajava*)

Tanaman jambu biji (*Psidium guajava*) dalam sistematika dunia tumbuhan diklasifikasikan menjadi seperti di bawah ini:



Gambar 2.9. Daun jambu biji

Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Bangsa : *Myrtales*
Familia : *Myrtaceae*
Genus : *Psidium*
Spessies : *Psidium guajava*, L. (Cronquist, 1981)

Tanaman jambu biji (*Psidium guajava*) merupakan tanaman yang berasal dari Amerika tropis, banyak ditanam sebagai tanaman buah-buahan yang tumbuh pada ketinggian 1-1.200 m diatas permukaan laut dan merupakan tanaman perdu atau pohon kecil, tinggi tanaman umumnya 3-10 m. (Steenis, 2008).

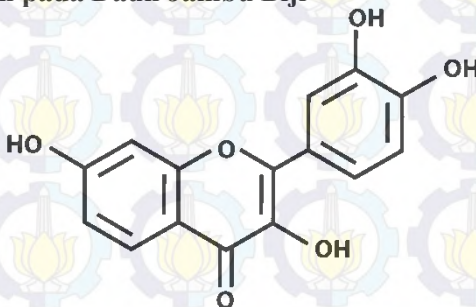
Daun-daun jambu biji memiliki kandungan zat-zat penyamak (psiditanin) sekitar 9%, minyak atsiri berwarna kehijauan yang mengandung eganol sekitar 0,4%, damar 3%, minyak lemak 6%, dan garam-garam mineral (Kartasapoetra, 2004). Menurut Qa'dan et al. (2005) ekstrak daun jambu biji terdapat senyawa tanin,



triterpen, dan flavonoid glikosida yang mempunyai aktivitas antimikroba. Daun tanaman jambu biji selain mengandung tanin, juga mengandung zat lain seperti asam ursolat, asam lat, asam guajaverin, minyak atsiri dan vitamin (Thomas, 1989). Selain itu, menurut Metwally et al. (2010), flavonoid yang terkandung pada ekstrak daun jambu biji meliputi 5 macam yaitu quercetin, quercetin-3- α -L-arabinofuanoside, quercetin-3- β -D-arabinopyranoside, quercetin-3- β -D-glucoside, dan quercetin-3- β -D-galactoside.

Menurut Direkbusarakom (1997) et al. tanaman jambu biji banyak digunakan sebagai obat. Tanaman tersebut bersifat anti diare, anti radang (inflamasi), dan menghentikan pendarahan (hemostatik). Daun segarnya dapat digunakan untuk pengobatan luar pada luka akibat kecelakaan, pendarahan akibat benda tajam, dan borok (ulcus) di sekitar tulang.

2.10.1. Tanin pada Daun Jambu Biji



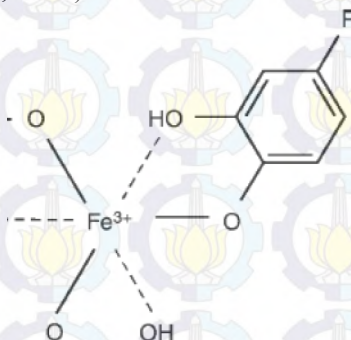
Gambar 2.10. Struktur inti tannin (Robinson, 1995)

Tanin adalah senyawa organik non toksik yang tergolong polifenol yang bisa diperoleh dari ekstrak tumbuh-tumbuhan seperti gambir, kacang-kacangan, teh, anggur dan lain-lain. Tanin pada tanaman jambu biji dapat ditemukan pada bagian buah, daun dan kulit batang, sedangkan pada bunganya tidak banyak mengandung tanin.



Tanin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi yang dapat menggantikan fungsi kromat dan timbale merah dalam zat dasar. Dalam senyawa tannin, terdapat gugus fungsi hidroksi yang melekat pada cincin aromatis sehingga tannin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III).

Kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi kompleks besi(III)-tanin yang disebut tanat. Kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi yang akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut karena kompleks tersebut akan terserap pada permukaan besi dan melindungi permukaan besi. (Ali, 2014)



Gambar 2.11. Struktur kimia dari *Iron (III) tannate*

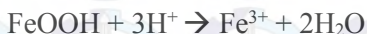
Selain itu, aplikasi tanin pada bidang korosi dufah digunakan cukup luas seperti pada bidang paints, adhesive, dan coatings. Ex Chen et al. (2008), melakukan studi terhadap tannin yang digunakan sebagai conversion coating pada paduan magnesium AZ91D. Tanin juga telah disebut sebagai converter karat sejak keberadaannya mengubah karat aktif menjadi oksida *non-reactive protective*. Ross & Francis (1978), menemukan bahwa tanin mempercepat fase magnetit sebagai lapisan antikorosif. Sifat protective didapatkan dari reaksi polifenol dari molekul tanin



dengan ion ferric sehingga membentuk jaringan *cross-linked* padat yaitu *ferric-tannates*.

Tanin telah digunakan selama bertahun-tahun sebagai inhibitor dalam berbagai bentuk, sebagai bahan *surface treatment* logam, *oxygen scavengers*, atau pembentuk film. Studi tannin sebagai inhibitor korosi telah dilakukan dengan tanaman *Rhizopora apiculata*, mampu menurunkan laju korosi pada material baja ringan dan tembaga. P.O. Ameh et. al (2012), menemukan bahwa tannin melakukan mekanisme absorpsi dengan membentuk layer pada permukaan mild steel.

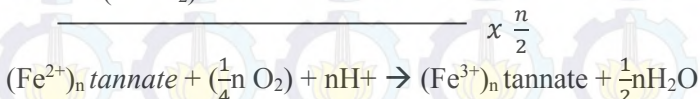
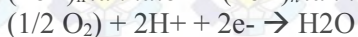
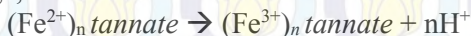
A.A Rahim, at.el (2007), menjelaskan secara sederhana konversi yang relative mudah dari *iron (III) oxides* menjadi deposit biru hitam *iron (III) tannate* dengan reaksi sebagai berikut:



Diikuti dengan reduksi ion Fe^{3+} dan reaksi dengan tannin,



sehingga,



Sebelumnya juga telah dilakukan penelitian mengenai efek tannin pada ekstrak daun jambu biji sebagai alternatif inhibitor organik. Menurut Nataria (2012), kandungan tannin pada daun jambu biji dapat menghambat laju korosi sebesar 92,92% dan 93,73% pada penambahan ekstrak 1000 ppm dan 2000 ppm pada baja SS 304 di lingkungan korosif asam sulfat (H_2SO_4). Keberadaan tannin dibuktikan dengan uji FTIR yang menunjukkan bahwa didalam ekstrak daun jambu biji terdapat gugus fungsi C-O, C=O, C-C, dan O-H. Ikatan gugus fungsi tersebut sama dengan



ikatan gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa tanin. Selain itu, penurunan laju korosi dan peningkatan efisiensi inhibisi disebabkan adanya proses inhibisi ekstrak daun jambu biji secara fisisorpsi yang dapat dilihat dari perubahan nilai konstanta Tafel β_a dan β_b yang tidak beraturan.

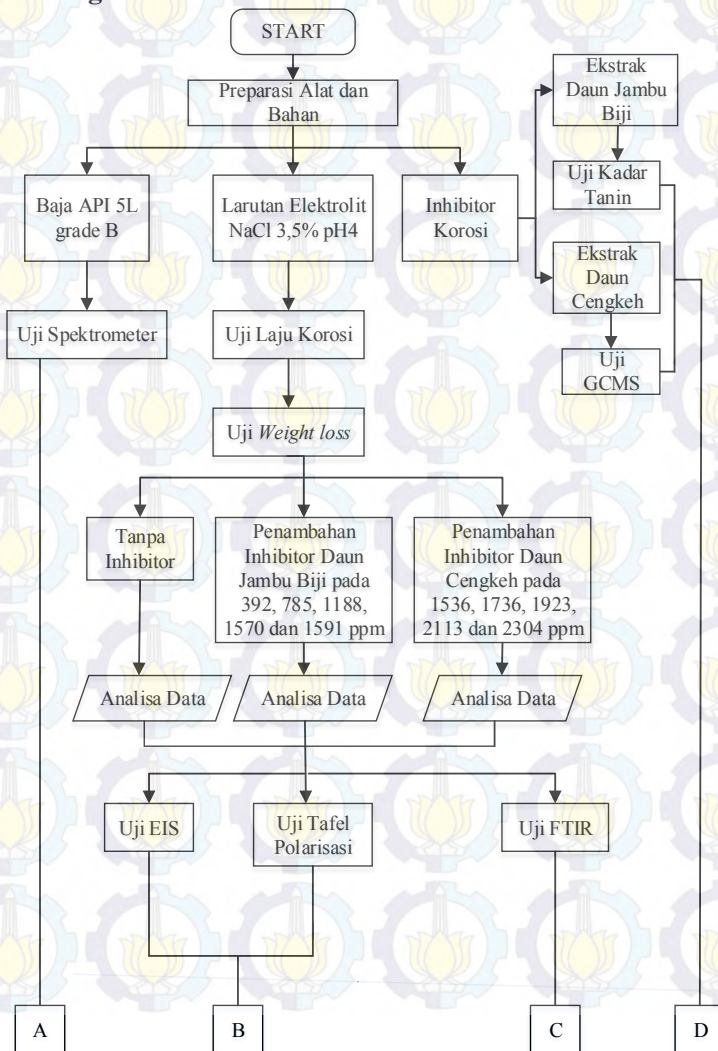
Sedangkan menurut Victoria (2015), ekstrak alcohol dari daun jambu biji merupakan inhibitor yang baik untuk mengurangi laju korosi pada baja karbon rendah pada lingkungan *phosphoric acid* 1 M dengan efisiensi sebesar 89% pada konsentrasi 800 ppm pada pengujian weight loss selama 1 jam. Mekanisme untuk menghambat laju korosi dikarenakan ekstrak dari daun jambu biji bereaksi dengan ion Fe^{2+} membentuk kompleks organo-logam (Fe-E) yang kemudian membentuk lapisan pada permukaan logam. Dengan peningkatan konsentrasi inhibitor cakupan permukaan logam yang terlindungi oleh lapisan teradsorpsi meningkat.

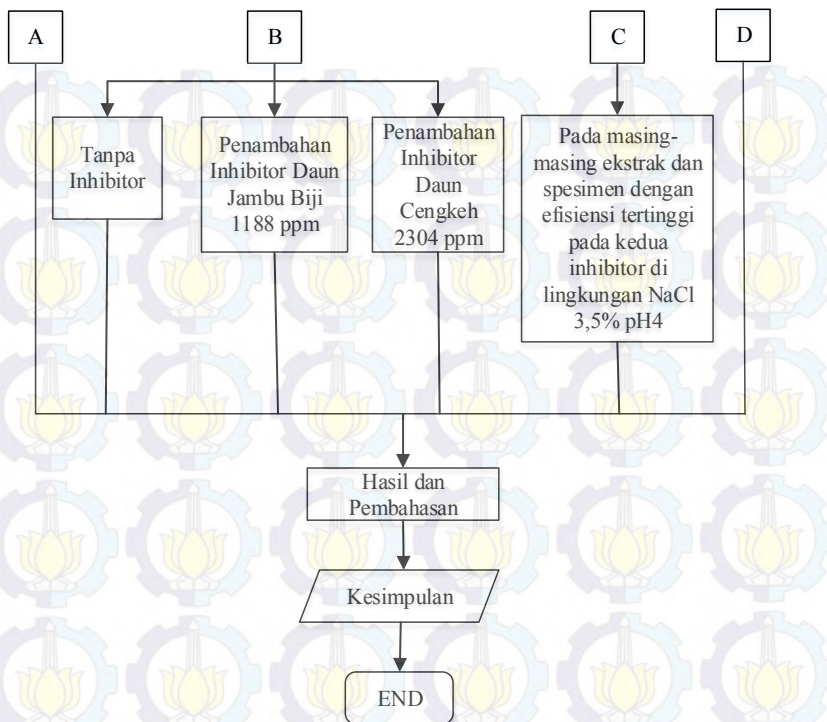


(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1. Diagram Alir

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

a. Baskom plastic	2 buah
b. Toples kaca besar	1 buah
c. Pengaduk	1 buah
d. Kertas saring	2 lembar
e. Botol kaca	2 buah
f. <i>Blender</i>	1 buah
g. Tali kasur	1 gulung
h. <i>Stick</i> kayu	108 buah
i. pH meter	1 buah
j. Timbangan digital	1 buah



-
- k. Botol plastic 108 buah
l. Amplas *grade* 80 5 lembar

3.2.2 Bahan

a. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja API 5L *grade* B yang termasuk ke dalam *low carbon steel*. Berikut adalah komposisi dari baja API 5L *grade* B

Tabel 3.1. Komposisi Baja API 5L *grade* B

Unsur	Komposisi (%)
C	0,116
Si	0,222
Mn	0,378
P	0,0289
S	0,0076
Cu	0,0092
Ni	0,0073
Cr	0,0331
Mo	0,0027
Al	0,0023
Fe	99,1

b. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan sebagai media adalah larutan NaCl 3,5% pH4

c. Inhibitor Daun Jambu Biji

d. Inhibitor Daun Cengkeh

e. Larutan HCl 37%

Larutan HCl 37% digunakan untuk proses *pickling* yaitu menghilangkan pengotor dan lapisan korosi pada specimen (*coupon*).

f. Air Sabun

Air sabun digunakan untuk mencelup specimen setelah dilakukan proses perendaman di dalam larutan HCl

g. Aquades



- h. Etanol 96%
- i. Petroleum Eter 70%

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian mengenai inhibitor korosi ini memiliki langkah langkah atau prosedur yang harus dilakukan secara sistematis. Berikut adalah prosedur dari penelitian ini.

3.3.1 Preparasi Sample

Preparasi sample dilakukan untuk mendapatkan sample standar yang digunakan pada pengujian *weight loss*, polarisasi tafel dan EIS.

a. Preparasi Sample *Weight loss*



Gambar 3.2. Spesimen Uji *Weight Loss*

1. Pemotongan sample dimana lembaran baja API 5L grade B schedule 40 diameter 2 inchi yang telah di rolling dibuat pola potong dengan ukuran sebesar 20 x 20 x 3 mm sebanyak 99 buah
2. Pengeboran sample yaitu sample yang telah berbentuk coupon di bor bagian tengahnya dengan diameter 3 mm yang digunakan untuk menggantung specimen.
3. Pengamplasan sample yang dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dengan nomor #80. Pengamplasan ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan anti karat (*coating*) yang diberikan pada permukaan



produk. Selain itu pengamplasan ini juga dilakukan jika terbentuk lapisan oksida pada sampel.

4. Penamaan sampel dengan pengkodean sebagai berikut:

XXTIYY (-), XXIJJY (-), XXICY (-)

dimana :

XX : hari perendaman (6, 12 dan 18 hari)

TI : tanpa inhibitor

IJ : inhibitor daun jambu biji

IC : inhibitor daun cengkeh

(-) : sampel ke- (1, 2 dan 3)

YY : konsentrasi inhibitor

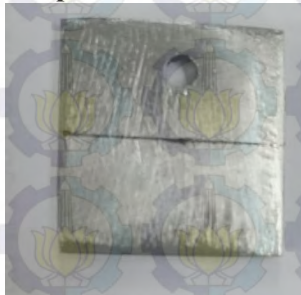
*) Untuk daun jambu biji : 392, 785, 1188, 1570 dan 1591 ppm

*) Untuk daun cengkeh : 1536, 1736, 1923, 2113, dan 2304 ppm

5. Pengambilan foto sampel untuk dokumentasi pengamatan visual sebelum dimulai proses penelitian.

6. Pengukuran dan penimbangan berat awal sampel untuk sebagai data awal dalam penghitungan *weight loss*.

b. Preparasi Sample Tafel Polarisasi dan EIS



Gambar 3.3. Spesimen Uji Tafel dan EIS

1. Memotong spesimen berukuran 20 x 20 x 3 mm.
2. Mengikir specimen agar *coating* serta pengotor pada permukaan dan sisi spesimen dapat dihilangkan.



3. Mengukur $\frac{1}{2}$ luas permukaan specimen yang akan diuji dan diberi tanda garis

3.3.2. Persiapan Larutan Rendam

Larutan yang digunakan sebagai media rendam adalah larutan 3,5% NaCl dengan penambahan CH_3COOH 1 M hingga mencapai pH4. Bahan baku yang digunakan adalah NaCl 32,45 gram, CH_3COOH 1 M sebanyak 1,2 ml. NaCl ini dilarutkan sebanyak 3,5% dari berat aquades dan ditambahkan 1,2 ml CH_3COOH 1M untuk tiap satu liter larutan NaCl 3,5% dan ditempatkan pada wadah besar.

Berdasarkan ASTM G31-72, untuk pengujian rendam skala laboratorium, volume larutan minimal untuk pengujian adalah :

$$\text{Volume larutan} = (0.2 \text{ s/d } 0.4) \times \text{luas permukaan} \quad (3.1)$$

Oleh karena itu, sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu luas permukaan sampel yang akan diuji. Berdasarkan Gambar 3.3 pengukuran luas sampel dilakukan dengan menggunakan Pers 3.2 sebagai berikut :

$$\text{Luas permukaan} = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) - (2 \pi r^2) + (t \times 2 \pi r) \quad (3.2)$$

Maka didapatkan luas permukaan sample yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan} &= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) - (2 \pi r^2) + (t \times 2 \pi r) \\ &= (2 \times 25 \times 20) + (2 \times 25 \times 1) + (2 \times 20 \times 1) - (2 \times 3.14 \times 1.5^2) + (1 \times 2 \times 3.14 \times 1.5) \\ &= 1066,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan Pers 3.1. maka didapatkan volume larutan minimum yang diperlukan untuk sebuah sampel adalah sebagai berikut :

$$\text{Volume minimal} = 1066.45 \times 0,4 = 426,58 \text{ ml} \approx 427 \text{ ml}$$



Volume larutan minimal untuk satu sampel adalah 427 ml. Karena jumlah sampel untuk pengujian ada 108 coupon, maka larutan yang diperlukan sebanyak 46116 ml.

3.3.3 Persiapan Inhibitor

Inhibitor yang digunakan antara lain ekstrak dari daun jambu biji (*Psidium guava*) dan ekstrak daun cengkeh (*Syzgium aromatic*). Dalam penggunaan inhibitor daun jambu biji, maka dilakukan dengan beberapa preparasi berikut ini.

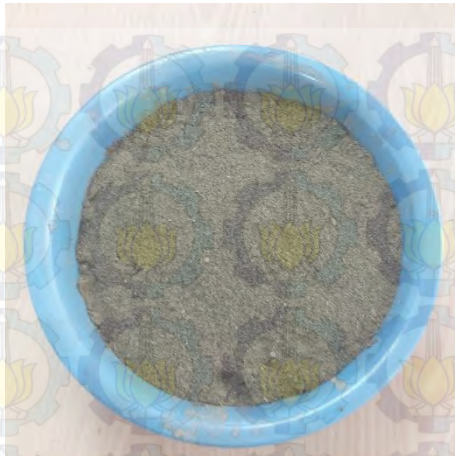
1. Proses preparasi inhibitor menjadi serbuk

Daun jambu biji diperoleh dari Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Berikut adalah langkah untuk memproses daun jambu biji menjadi serbuk:



Gambar 3.4. Daun Jambu Biji

- Memilih daun jambu biji yang masih segar kemudian mencuci bersih daun jambu biji.
- Memisahkan daun jambu biji dengan tulang daunnya
- Selanjutnya daun jambu biji dikeringkan dengan udara (tidak langsung terkena sinar matahari) selama 3 hari.
- Untuk mendapatkan serbuk daun jambu biji, maka daun yang telah kering tersebut dilakukan *blender*.



Gambar 3.5. Serbuk Daun Jambu Biji

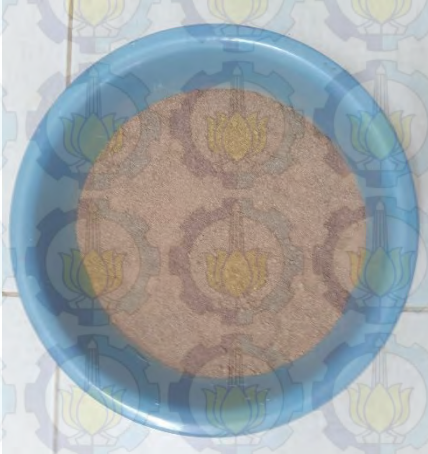
Sedangkan daun cengkeh diperoleh dari Wonosalam, Jombang, Jawa Timur. Adapun langkah-langkah untuk memproses daun cengkeh menjadi serbuk dijelaskan berikut ini.



Gambar 3.6. Daun Cengkeh Kering



- Memisahkan daun cengkeh kering dengan tulang daunnya
- Mem-*blender* daun cengkeh kering tersebut hingga menjadi serbuk.



Gambar 3.7. Serbuk Daun Cengkeh Kering

2. Proses ekstrak

Metode ekstrak yang digunakan untuk mendapatkan ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh adalah metode maserasi. Peralatan yang digunakan pada metode ini antara lain:

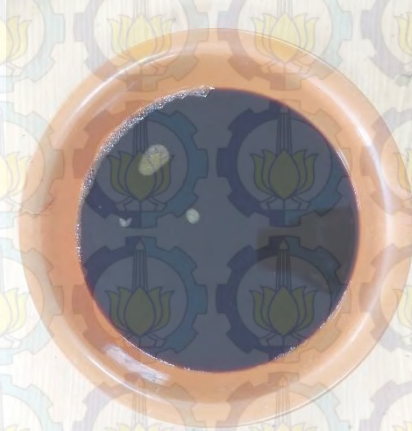
- | | |
|----------------------|----------|
| a. Baskom plastic | 2 buah |
| b. Toples kaca besar | 1 buah |
| c. Pengaduk | 1 buah |
| d. Kertas saring | 2 lembar |
| e. Botol kaca | 2 buah |

Sedangkan bahan yang diperlukan didalam penelitian antara lain:

- | | |
|---------------------------|----------|
| a. Aquades | 10 liter |
| b. Etanol 96% | 10 liter |
| c. Petroleum eter 70% | 10 liter |
| d. Serbuk daun jambu biji | 2000 g |
| e. Serbuk daun cengkeh | 1000 g |



Setelah semua peralatan dan bahan tersedia, berikut adalah langkah mengekstrak inhibitor daun jambu biji:



Gambar 3.8. Maserasi Terbuka Serbuk Daun Jambu Biji dengan Pelarut 50% Etanol, 50% Aquades

- Memasukkan serbuk daun jambu biji ke dalam baskom plastic sebanyak 1000 gram kedalam masing-masing wadah plastic
 - Melarutkan serbuk daun jambu biji dengan pelarut 50% etanol dan 50% aquades pada masing-masing wadah dengan perbandingan 1 : 10
 - Melakukan maserasi terbuka selama 2x24 jam
 - Hasil maserat disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh ekstrak daun jambu biji
 - Ekstrak daun jambu biji hasil maserasi, diuapkan dengan proses destilasi untuk menghilangkan pelarut etanol dan air
- Sedangkan langkah untuk mengekstrak inhibitor daun cengkeh adalah sebagai berikut:
- Memasukkan serbuk daun cengkeh kedalam toples kaca sebanyak 1000 gram
-



- Melarutkan serbuk daun cengkeh dengan pelarut petroleum eter 70% dengan perbandingan 1 : 10
- Melakukan maserasi tertutup selama 2x24 jam

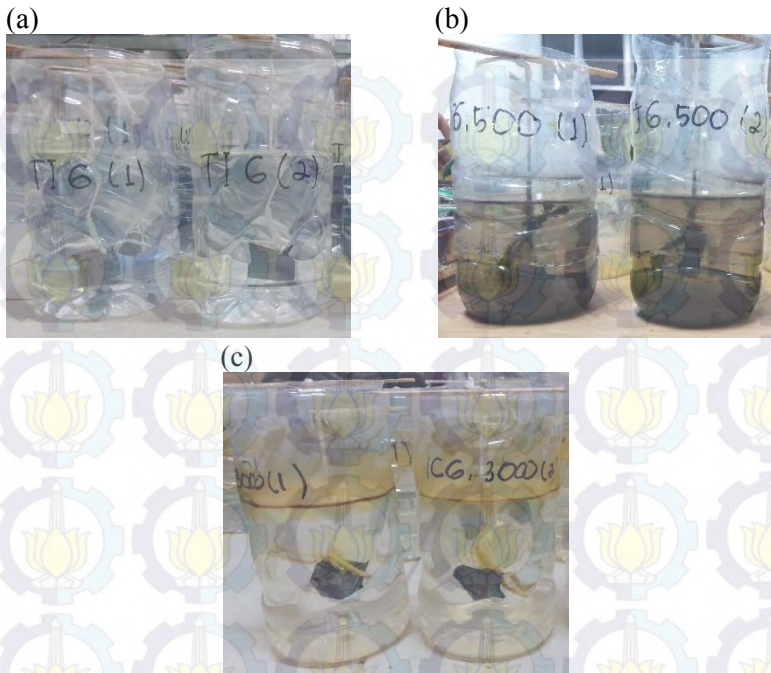


Gambar 3.9. Maserasi Tertutup Serbuk Daun Cengkeh dengan Pelarut 70% Petroleum Eter

- Hasil maserat disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh ekstrak daun cengkeh
- Ekstrak daun cengkeh hasil maserasi, diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator* untuk menghilangkan pelarutnya pada temperature 55°C

3.4. Langkah Kerja Uji Rendam menurut ASTM G31-72

Wadah plastik yang sudah disiapkan kemudian stick kayu sebagai tempat penggantungan spesimen. Kemudian masukkan larutan 3.5% NaCl pH4 sebanyak ± 500 ml. Pasang benang pada lubang yang ada di sampel kemudian ikatkan pada benang pada stick kayu yang ada di wadah dan celupkan sampel.



Gambar 3.10. Spesimen Uji Rendam (a) Tanpa Inhibitor (b) Inhibitor Jambu Biji dan (c) Inhibitor Daun Cengkeh

Setiap wadah diberi label yang berisi kode sampel yang dicelupkan didalamnya:

1. Wadah 06TI, 12TI dan 18TI untuk perendaman sample tanpa penambahan inhibitor.
2. Wadah 06IJ (1, 2, 3, 4, 5) dan 06IC (1, 2, 3, 4, 5) dengan perendaman sampel selama 6 hari.
 - 06IJ392, 06IJ785, 06IJ1188, 06IJ1570 dan 06IJ1591; pada larutan yang ditambahkan inhibitor daun jambu biji
 - 06IC1536, 06IC1736, 06IC1923, 06IC2113 dan 06IC2304; pada larutan yang ditambahkan inhibitor daun cengkeh



3. Wadah 12IJ (1, 2, 3, 4, 5) dan 12IC (1, 2, 3, 4, 5) dengan perendaman sampel selama 12 hari.
 - 12IJ392, 12IJ785, 12IJ1188, 12IJ1570 dan 12IJ1591; pada larutan yang ditambahkan inhibitor daun jambu biji
 - 12IC1536, 12IC1736, 12IC1923, 12IC2113 dan 12IC2304; pada larutan yang ditambahkan inhibitor daun cengkeh
4. Wadah 18IJ (1, 2, 3, 4, 5) dan 18IC (1, 2, 3, 4, 5) dengan perendaman sampel selama 18 hari.
 - 18IJ392, 18IJ785, 18IJ1188, 18IJ1570 dan 18IJ1591; pada larutan yang ditambahkan inhibitor daun jambu biji
 - 18IC1536, 18IC1736, 18IC1923, 18IC2113 dan 18IC2304; pada larutan yang ditambahkan inhibitor daun cengkeh

3.5. Pengujian

3.5.1 Pengujian Spektrometri

Pengujian Spektrometri dilakukan di PT. Barata, Gresik. Tujuan pengujian spektrometri ini adalah mengetahui komposisi kimia dari baja API 5L grade B. Spektrometri merupakan suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu bagian dari spektrometri ialah Spektrometri Serapan Atom (SSA), merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog et. al., 2000).

Prosedur pengujian komposisi (*Spectrometry*) adalah

1. Mempersiapkan benda uji
 - Meratakan benda uji dengan menggunakan gerinda perata.



-
- Membersihkan dan mengeringkan benda uji yang sudah diratakan agar bebas dari lemak, kotoran dan sentuhan tangan.
 - 2. Memasang benda uji pada ruang penembakan
 - Mengatur ketinggian penekanan sesuai dengan ketebalan benda uji.
 - Memastikan posisi benda uji menutupi lubang penembakan.
 - Menutup pintu ruang penembakan hingga terkunci dengan benar.
 - 3. Memulai pengujian komposisi elemen paduan.
 - Membuka kolom analisis yang terdapat pada layar komputer.
 - Memilih baris routine analysis dengan menggunakan mouse pointer.
 - Kemudian memilih baris unknown % dengan cara mengklik baris tersebut atau dengan cara menekan tombol F2.
 - Memilih salah satu program yang sesuai dengan bahan yang akan diuji dengan cara mengklik change task.
 - Memastikan pada kolom *analytical programe* tertulis program yang kita tulis disisi paling kiri.
 - Kemudian mengklik *select* dan memilih juga program yang sesuai dengan bahan yang akan diuji.
 - Memilih kolom sample indentifier, lalu mengisi semua kotak dengan data data pengujian yang akan dilakukan.
 - Melakukan penembakan (*sparking*) dengan cara mengklik sample detail ok atau dengan cara menekan tombol enter pada keyboard.
 - Mengubah posisi benda untuk melakukan penembakan berikutnya pada benda uji yang sama, sehingga tidak terjadi penembakan pada daerah yang sama. Kemudian melakukan penembakan sekali lagi dengan mengklik analyze again atau menekan tombol enter.
-



- Memeriksa apakah data yang muncul dari beberapa kali pengujian sudah memenuhi standar deviasi yang ditentukan atau belum.
 - Mengklik analysis complete kemudian mengklik continue.
 - Mengklik yes pada perintah selanjutnya jika data akan disimpan dan mengklik no jika data tidak disimpan.
4. Mencetak data komposisi elemen paduan dalam bentuk dokumen.

3.5.2. Pengujian Kualitatif Tanin

Pengujian kualitatif kadar tannin ini dilakukan di Sekolah Farmasi, Institut Teknologi Bandung. Adapun metode penentuan kadar tannin adalah *Determination of tannins, Quality control methods for medicinal plant materials, WHO*. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

a. Alat

1. Erlemenmeyer 50ml
2. Pipet 50ml dan 25ml
3. Timbangan dan neraca analitis
4. Pemanas
5. Labu takar 250ml
6. Pemanas
7. Cawan penguap
8. Oven
9. Kertas saring

b. Bahan

1. Aquadest
2. Kulit sapi segar pengganti *Hide Powder R*

Metode pengujian:

1. Sampel ditimbang secara akurat lalu dilarutkan kedalam 150ml aquades. Campuran dipanaskan selama 30menit kemudian didinginkan hingga temperature ruangan. Pindahkan campuran kedalam labu takar 250ml dan encerkan hingga volumenya sesuai. Campuran disaring



menggunakan kertas saring dan 50ml filtrate awal dibuang. Untuk menentukan jumlah senyawa yang terekstraksi didalam aquades, uapkan filtrate sejumlah 50ml pada temperature 50°C selama 4jam (T_1)

2. Untuk menentukan jumlah senyawa dari sampel yang tidak terikat pada kulit dan terekstraksi kedalam aquades, ambil sejumlah 80ml filtrat dari tahap sebelumnya dan tambahkan 6gr kulit. Kocok campuran selama 60menit kemudian saring menggunakan kertas saring. Uapkan filtrate sejumlah 50ml dengan temperature 105°C (T_2)
3. Untuk menentukan kelarutan kulit didalam aquades, tambahkan 6gr kulit kedalam aquades dan kocok selama 60menit. Saring menggunakan kertas saring dan uapkan filtrate sejumlah 60ml pada temperature 60°C (T_0)

Penentuan kadar tannin dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{[T_1 - (T_2 - T_0)] \times 500}{w}$$

dimana,

w = bobot sampel dalam gram

3.5.2. Pengujian GCMS

Pengujian GCMS dilakukan di Unit Layanan Penelitian Farmasi, Universitas Airlangga. Pengujian GC-MS ini bertujuan untuk mengetahui senyawa aktif yang terdapat didalam ekstrak daun cengkeh yang telah di maserasi selama 2x24 jam menggunakan pelarut petroleum eter 70%. GC-MS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit.



Gambar 3.11. Alat Uji GCMS

Pada metode analisis GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectroscopy*) adalah dengan membaca spektra yang terdapat pada kedua metode yang digabung tersebut. Pada spektra GC jika terdapat bahwa dari sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spektra GC tersebut. Berdasarkan data waktu retensi yang sudah diketahui dari literatur, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel. Selanjutnya adalah dengan memasukkan senyawa yang diduga tersebut ke dalam instrumen spektroskopi massa. Hal ini dapat dilakukan karena salah satu kegunaan dari kromatografi gas adalah untuk memisahkan senyawa-senyawa dari suatu sampel. Setelah itu, didapat hasil dari spektra spektroskopi massa pada grafik yang berbeda. Informasi yang diperoleh dari kedua teknik ini yang digabung dalam instrumen GC-MS adalah tak lain hasil dari masing-masing spektra. Untuk spektra GC, informasi terpenting yang didapat adalah waktu retensi untuk tiap-tiap senyawa dalam sampel. Sedangkan untuk spektra MS, bisa diperoleh informasi mengenai massa molekul relatif dari senyawa sampel tersebut.



Pengujian GC-MS dilakukan dengan melarutkan ekstrak daun cengkeh pelarut petroleum eter 70% dengan menggunakan n-heksan kemudian diinjeksikan pada injector alat GC-MS tersebut. Alat uji GC-MS telah diatur dengan temperature awal 80°C dan temperature akhirnya 220°C. Kemudian ekstrak daun cengkeh yang sudah diinjeksikan akan diuapkan lalu mengalir dalam *column*. Senyawa-senyawa yang terdapat pada ekstrak sarang semut dideteksi oleh detector yang akan menghasilkan grafik kandungan senyawa dalam bentuk peak. Dimana setiap peak ini dibandingkan dengan standart (data MS).

3.5.3. Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan tipe *Thermo Scientific Nicolet iS10*.



Gambar 3.12. Alat Uji FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus - gugus fungsi yang terbentuk pada inhibitor ekstrak daun jambu biji, daun cengkeh serta baja API 5L *Grade B* yang telah dilakukan perendaman dengan uji *weight loss*.



Langkah langkah nya adalah merendam spesimen ke dalam larutan elektrolit yang telah ditambahkan konsentrasi 1500 ppm ekstrak daun jambu biji dan konsentrasi 3000 ppm untuk ekstrak daun cengkeh pada lingkungan NaCl 3,5% pH4. Untuk lama waktu perendaman, pada ekstrak daun jambu biji adalah 18 hari karena merupakan hasil efisiensi maksimum inhibitor saat pengujian *weight loss* dan daun cengkeh dengan perendaman 6 hari. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisiian cahaya yang melewati *sample*, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.

3.5.5 Pengujian Weight Loss

Pengujian *weight loss* dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Uji *weight loss* atau metode pengurangan berat adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui laju korosi (mpy) suatu benda kerja dengan menggunakan cara menimbang berat awal dan berat akhir setelah dilakukan pengujian *weight loss* ini. Pengujian *weight loss* ini dilakukan dengan mencelupkan benda kerja kedalam larutan atau lingkungan dengan konsentrasi inhibitor yang berbeda. Konsentrasi inhibitor daun jambu biji yang dimasukkan kedalam larutan NaCl 3,5% pH4 adalah 500, 1000, 1500, 2000 dan 2500 ppm. Sedangkan untuk konsentrasi inhibitor daun jambu biji adalah 2000, 2250, 2500, 2750 dan 3000 ppm. Langkah-langkah pengujian weight loss dapat dijelaskan sebagai berikut yang mengacu pada standar ASTM (*American Standard and Testing Material*) G-31 “*Laboratory Corrosion Testing of Metals*” :

1. Berat awal masing-masing spesimen ditimbang.



2. Mengikat spesimen dengan benang kasur dan mengikatkan pada stick kayu yang telah terpasang pada botol plastik tempat larutan elektrolit.
3. Merendam spesimen kedalam larutan elektrolit yang terdapat pada botol plastik yang berisi campuran larutan elektrolit NaCl 3,5% pH4 dengan masing-masing ketentuan konsentrasi inhibitor.
4. Mengambil spesimen pada hari ke-6, setelah itu di *pickling*, dikeringkan dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat akhir spesimen
5. Melakukan hal yang sama pada langkah (5) pada pengambilan spesimen hari ke-12 dan ke-18

Mekanisme pencucian spesimen pengujian *weight loss* mengarah pada standar ASTM G1-02 "*Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen*":

1. Mencuci spesimen dengan asam klorida (HCl) 34ml dengan penambahan aquades hingga volum tepat 100ml.
2. Merendam spesimen ke dalam larutan basa yaitu air sabun
3. Mencuci specimen dengan menggunakan aquades
4. Setelah itu dikeringkan menggunakan *tissue*

Tabel 3.2. Perancangan penelitian metode *weight loss*

Inhibitor	Konsentrasi inhibitor (ppm)	Lama perendaman	Kode	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat Selisih (gr)
Daun Jambu Biji	0	6	TI06			
		12	TI12			
		18	TI18			
	392	6	IJ06,392			
		12	IJ12,392			
		18	IJ18,392			
	785	6	IJ06,785			
		12	IJ12,785			
		18	IJ18,785			
	1188	6	IJ06,1188			
		12	IJ12,1188			
		18	IJ18,1188			
	1570	6	IJ06,1570			
		12	IJ12,1570			
		18	IJ18,1570			



Inhibitor	Konsentrasi inhibitor (ppm)	Lama perendaman	Kode	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Berat Selisih (gr)
Daun Cengkeh	1591	6	IJ06,1591			
		12	IJ12,1591			
		18	IJ18,1591			
	0	6	TI06			
		12	TI12			
		18	TI18			
	1536	6	IC06,1536			
		12	IC12,1536			
		18	IC18,1536			
	1736	6	IC06,1736			
		12	IC12,1736			
		18	IC18,1736			
	1923	6	IC06,1923			
		12	IC12,1923			
		18	IC18,1923			
	2113	6	IC06,2113			
		12	IC12,2113			
		18	IC18,2113			
	2304	6	IC06,2304			
		12	IC12,2304			
		18	IC18,2304			

3.5.6 Pengujian Tafel Polarisasi

Pengujian Tafel Polarisasi dilakukan di Laboratorium Elektrokimia, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan software AUTOLABPGSTAT128N. Pada prinsipnya polarisasi adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengatur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan (*reference electrode*) dan menggunakan variabel arus antara elektroda kerja dengan elektroda bantu (*auxiliary electrode*).

Tabel 3.3. Parameter Pengujian Tafel

Elektroda Kerja	API 5L Grade B
<i>Equivalent Weight</i> (g)	27,92
Densitas (g/ml)	7,85
Luasan Terekspos (cm ²)	2
<i>Counter Electrode</i>	Platina



Elektroda Kerja	API 5L Grade B
<i>Reference Electrode</i>	SCE
<i>Scan Rate (V/s)</i>	0.1
<i>Sweep Range</i>	0,1 - 1000
<i>Start Potential (V)</i>	-0,3 vs Ecorr
<i>Finish Potential (V)</i>	+0,3 vs Ecorr

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM G 5 (*Standart Reference Method for Making Potensiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan elektrolit NaCl 3,5% pH4 dengan konsentrasi inhibitor daun jambu biji yaitu 0 dan 1500 ppm. Sedangkan konsentrasi inhibitor daun cengkeh adalah 3000 ppm. Dari laju korosi material tersebut juga bisa didapatkan efisien dari inhibitor yang digunakan.



Gambar 3.13. Alat Uji Tafel Polarisasi

Pada dasarnya, peralatan pengujian polarisasi potensiodinamik memiliki tiga komponen penting, yaitu :

- a. Elektroda Kerja



Elektroda yaitu spesimen baja API 5L grade B yang telah dibentuk dengan cara dipotong menjadi dimensi yang telah ditentukan dan telah diukur dan diberi tanda pada luas permukaan yang tercelup.

b. Elektroda Bantu

Elektroda yang dipakai berupa lembaran platina dengan ukuran kurang lebih 2cm x 3cm. Fungsi dari elektroda ini adalah untuk menghantarkan arus ke elektroda kerja.

c. Elektroda Acuan

Elektroda acuan digunakan sebagai titik acuan dan juga sebagai pembanding dalam pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Pada pengujian ini elektroda acuan yang digunakan adalah elektroda acuan Ag/AgCl.

Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L grade B dengan *surface* kontak sebesar 10 mm x 10 mm dan larutan elektrolit NaCl 3,5% pH4 dan penambahan inhibitor daun jambu biji sebesar 1500 ppm serta penambahan inhibitor daun cengkeh 3000 ppm.
- Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 100 ml.
- Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
- Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan software AUTOLAB PGSTAT.

Tabel 3.4. Rancangan penelitian tafel polarisasi

Inhibitor	Konsentrasi (ppm)	ba (mV/dec)	bc (mV/dec)	Ecorr (mV)	icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mpy)
A	0					
	X					
B	0					
	X					

Keterangan:

A : Inhibitor Daun Jambu Biji



B : Inhibitor Daun Cengkeh
X : Konsentrasi dimana penurunan laju korosi maksimum

3.5.7 Pengujian EIS

Pengujian EIS dilakukan di Laboratorium Elektrokimia, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh pada spesimen baja API 5L GB dalam media larutan NaCl 3,5% pH4 yang nantinya dijelaskan dengan parameter-parameter elektrokimia berupa rangkaian listrik yang disebut *equivalent circuit*.



Gambar 3.12. Alat Uji EIS

Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan software AUTOLABPGSTAT128N yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda acuan dan elektroda bantu. *Electrochemical Impedance Spectroscopy* adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu electrode yang terkorosi terhadap sinyal potensial AC sebagai fungsi frekuensi. Metode EIS dimaksudkan untuk mengetahui inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan ataukah transfer massa. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan elemen-elemen listrik seperti tahanan, R, kapasitansi, C, dan induktansi, L. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian EIS dengan variasi media korosif NaCl 3,5% pH4 serta konsentrasi inhibitor daun jambu biji pada



efisiensi tertinggi yang didapatkan dari metode *weight loss* yaitu 1500 ppm dan inhibitor daun cengkeh sebesar 3000 ppm.

Prosedur pengujian polarisasi potensiodynamik adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja API 5L grade B dengan *surface* kontak sebesar 10 mm x 10 mm dan larutan elektrolit NaCl 3,5% pH4 dan penambahan inhibitor daun jambu biji sebesar 1500 ppm serta penambahan inhibitor daun cengkeh 3000 ppm.
- Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 100 ml.
- Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
- Menjalankan pengujian EIS dengan bantuan software AUTOLAB PGSTAT.

Tabel 3.5. Rancangan penelitian metode EIS

Inhibitor	Konsentrasi (ppm)	Rs (m Ω)	Rp (m Ω)	CPE	
				Y0	N (mMho)
A	0				
	X				
B	0				
	X				

Keterangan:

A : Inhibitor Daun Jambu Biji

B : Inhibitor Daun Cengkeh

X : Konsentrasi dimana penurunan laju korosi maksimum



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang sesuai pada prosedur penelitian bab 3, maka diperoleh sejumlah data berupa: komposisi kimia baja API 5L Grade B dengan uji *Spectrometer*, kadar tanin total pada ekstrak daun jambu biji (*Psidium guajava*) dengan uji tanin, kadar eugenol total pada ekstrak daun cengkeh (*Syzigium aromaticum*) dengan uji GCMS, senyawa yang terkandung dalam masing-masing ekstrak maupun senyawa yang terdapat pada permukaan spesimen dengan uji FTIR, laju korosi dan efisiensi inhibisi dengan uji *weight loss* dan tafel polarisasi, serta mekanisme inhibisi dengan uji EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*).

4.1. Hasil

4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer

Pengujian ini menggunakan ukuran logam 20 x 20 x 3 mm. Berikut adalah komposisi kimia dari baja API 5L Grade B.

Tabel 4.1. Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

Unsur	Komposisi (%)
C	0,116
Si	0,222
Mn	0,378
P	0,0289
S	0,0076
Cu	0,0092
Ni	0,0073
Cr	0,0331
Mo	0,0027
Al	0,0023
Fe	99,1

Dari pengujian spektrometer, baja API 5L grade B tergolong kedalam *low carbon steel* dikarenakan kadar karbon



kurang dari 0,30%. Adanya unsur tambahan dapat mempengaruhi sifat mekanik dan ketahanan korosi terhadap lingkungan kerja. Unsur Cr, Ni, dan Cu akan menjadi salah faktor yang sangat berperan dalam menentukan sifat ketahanan korosi dari suatu baja apabila baja tersebut diaplikasikan dalam sebuah lingkungan tertentu. Baja karbon memang didesain tanpa penambahan unsur – unsur lain sehingga secara umum baja karbon memiliki ketahanan korosi yang rendah pada lingkungan – lingkungan yang bersifat asam maupun lingkungan air laut.

4.1.2. Hasil Pengujian Fitokimia Tanin

Pengujian fitokimia tanin dilakukan terhadap ekstrak daun jambu biji dengan metode *determination of tanins, quality control methods for medical plant materials, WHO* didapatkan kadar tanin pada ekstrak etanol sebesar $10,93 \pm 0,9\%$. Hasil pengujian kadar tanin dapat dilihat pada table 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil Kadar Tanin

No.	Bahan	% Tanin
1	Simplisia daun jambu	$5,2 \pm 0,87$
2	Ekstrak etanol daun jambu	$10,93 \pm 0,9\%$

4.1.3. Hasil Pengujian GCMS

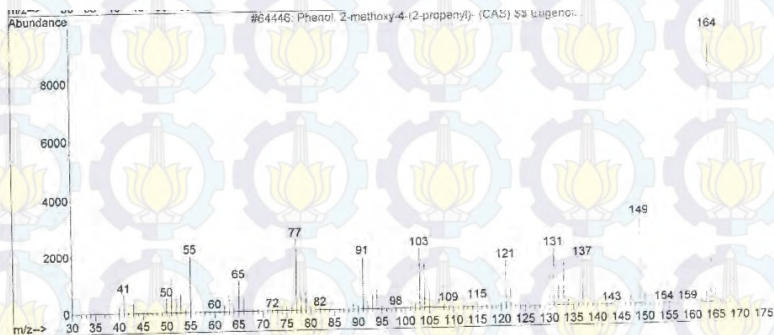
Pengujian GC-MS dilakukan dengan melarutkan ekstrak daun cengkeh dengan menggunakan n-heksan sebanyak 3 kali kemudian diinjeksikan pada injector alat GC-MS tersebut. Alat uji GC-MS telah diatur dengan temperature awal 80°C dan temperature akhirnya 220°C . Kemudian ekstrak daun cengkeh yang sudah diinjeksikan akan diuapkan lalu mengalir dalam *column*. Senyawa-senyawa yang terdapat pada ekstrak daun cengkeh dideteksi oleh detector yang akan menghasilkan grafik kandungan senyawa dalam bentuk peak. Dimana setiap peak ini dibandingkan dengan standart (data MS).



4.1.3.1. Hasil Pengujian GCMS Ekstrak Daun Cengkeh

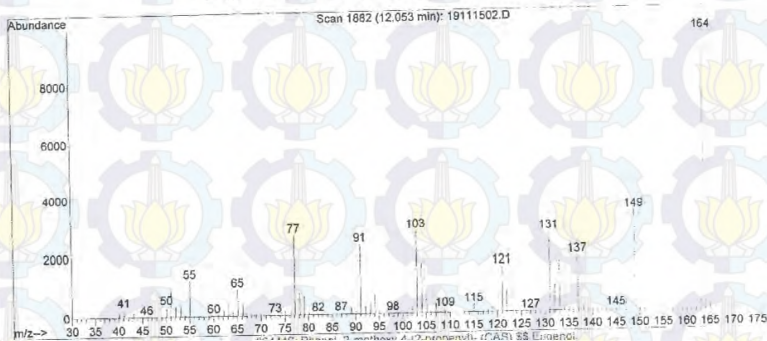
Senyawa – senyawa yang dominan pada ekstrak daun cengkeh antara lain :

- Eugenol dengan persen area 66,773
- Kariofilen- β dengan persen area 10,030
- Kariofilen oksida dengan persen area 4,067

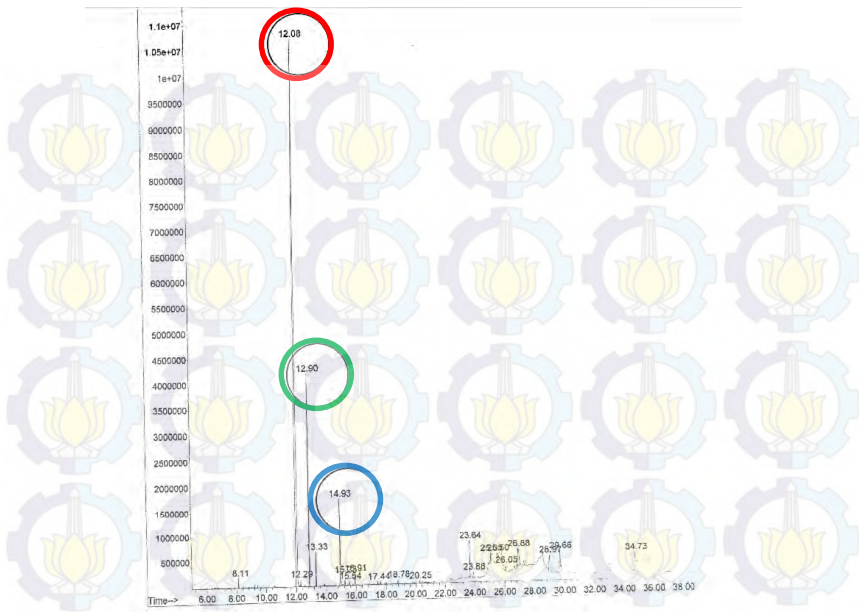


Gambar 4.1. Kromatogram ekstrak eugenol sample

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1
Quality : 98
ID : Phenol, 2-methoxy-4-(2-propenyl)- (CAS) SS Eugenol SS 1
-(2-PROPENYL)-4-HYDROXY-3-METHOXYBENZENE SS Eugenol SS
p-Eugenol SS Eugenic acid SS 4-Allylguaiacol SS p-Allyl
guaiacol SS Caryophylllic acid SS 4-Allyl-2-methoxypheno
1 SS 2-Methoxy-4-allylphenol SS Phe



Gambar 4.2. Kromatogram standar eugenol



Gambar 4.3. Kromatogram dan waktu retensi ekstrak daun cengkeh

Berdasarkan gambar 4.3 diatas diketahui bahwa puncak eugenol terlihat pada waktu retensi (t_R) 12,08 yang ditunjukkan dengan warna merah. Kromatogram yang diperoleh pada gambar 4.1 menunjukkan adanya kesamaan antara senyawa dari sampel ekstrak daun cengkeh dengan eugenol standar pada gambar 4.2, dimana puncak yang dihasilkan pada retensi 12,08 memiliki nilai-nilai *abundance* yang sama dengan eugenol standar dimana pada eugenol hasil ekstrak dihasilkan peak pada 41, 46, 50, 55, 60, 65, 73, 77, 82, 87, 91, 98, 103, 109, 115, 121, 127, 131, 137, 145, 149, 164 sedangkan peak pada eugenol standar adalah 41, 50, 55, 60, 65, 72, 77, 82, 91, 98, 103, 109, 115, 121, 131, 137, 143, 149, 154, 159 dan 164. Hasil pengujian ini memiliki kesesuaian hingga 98% sehingga dapat disimpulkan bahwa senyawa tersebut adalah eugenol.



Hasil karakterisasi senyawa dominan pada ekstrak daun cengkeh dicantumkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.3. Hasil Karakterisasi Senyawa Dominan Ekstrak Daun Cengkeh

Karakter yang diamati	Eugenol	Kariofilen	Kariofilen Oksida
Warna			
Waktu retensi	12,08	12,90	14,93
Ketinggian <i>peak</i>	10717884	4198754	1733996
Luas area	46430745	6974722	2827943
% kemurnian	66,773	10,030	4,067

4.1.4 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada masing-masing ekstrak dan specimen yang telah direndam, kemudian didapatkan kurva FTIR yang kemudian dibandingkan antara keduanya untuk mengetahui senyawa organik yang berfungsi sebagai penghambat laju korosi. Berikut adalah analisa dari masing-masing pengujian FTIR dengan penambahan kedua inhibitor tersebut. Analisa ini berdasarkan referensi "*A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*" oleh B.D Mistry (2009).

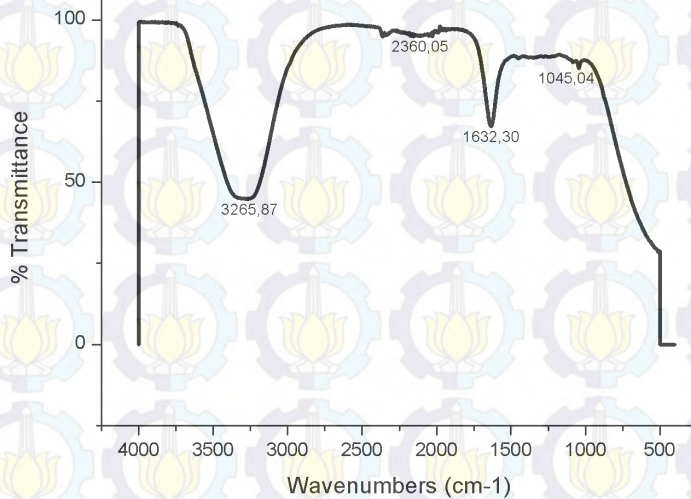
4.1.4.1 Pengujian FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji

Pengujian FTIR ini meliputi ekstrak daun jambu biji dan baja API 5L yang telah direndam dengan NaCl 3,5% pH 4 beserta inhibitor daun jambu biji. Pada penelitian ini, inhibitor yang digunakan adalah daun jambu biji, dimana daun jambu biji memiliki kandungan antioksidan yang tinggi, yaitu tanin dan polifenol. Kandungan-kandungan tersebut merupakan antioksidan yang baik dalam menghambat laju korosi.

Untuk mengetahui senyawa apakah yang terabsorpsi pada permukaan baja API 5L maka perlu dibandingkan hasil FTIR antara ekstrak daun jambu biji dengan baja API 5L yang telah



direndam. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR dari ekstrak daun jambu biji :



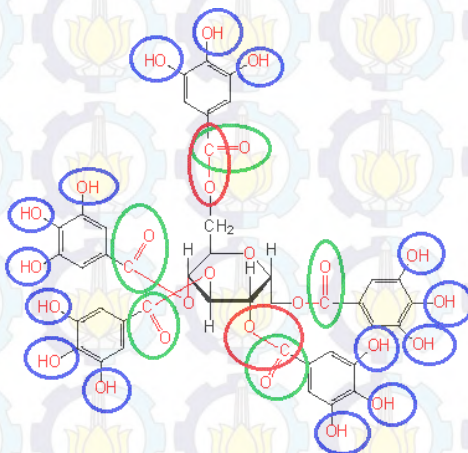
Gambar 4.4. Grafik FTIR Ekstrak Daun Jambu Biji

Berdasarkan hasil uji FTIR ekstrak daun jambu biji didapatkan puncak – puncak yang memiliki nilai panjang gelombang dan dapat diketahui intensitasnya sehingga menunjukkan gugus fungsi dari larutan tersebut. Gugus fungsi hasil FTIR diperiksa apakah membentuk struktur tanin. Gambar 4.5 menunjukkan gugus – gugus fungsi hasil pengujian yang ditemukan pada gugus fungsi tanin.

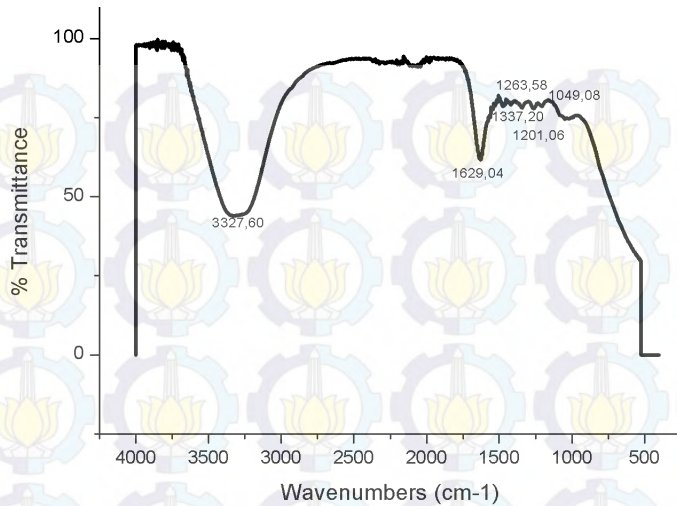
Spektra tanin pada table 4.4, tampak adanya serapan pada daerah 3265,87 cm⁻¹ dengan intensitas kuat dan bentuk pita lebar menunjukkan adanya gugus fungsi O-H. Pita serapan yang tajam dan intensitas sedang pada bilangan gelombang 1632,30 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus *ketones* C=O. Selain itu, pada bilangan gelombang 1045,04 cm⁻¹ dengan intensitas kuat menunjukkan adanya senyawa *carbonyl* jenis *anhydrides acyclic* dengan gugus C-O.

**Tabel 4.4.** Gugus Fungsi Tanin Hasil FTIR

Warna	Range Inhibitor (cm-1)	Range Frekuensi (cm-1)	Intensitas	Ikatan	Tipe dan grup
Blue	3265,87	3400-3230	s., br.	<i>O-H str.</i>	<i>R-OH, Ar-OH polymeric</i>
White	2360,05	2640-2360	w.		<i>Amino acids</i>
Green	1632,30	1640-1535	s..d.	<i>C=O str.</i>	<i>Ketones, (-CO-CH₂-CO or -CO-C=C-OH)</i>
Red	1045,04	1175-1045	s.	<i>C-O str.</i>	<i>Carbonyl compound (Anhydride acyclic)</i>

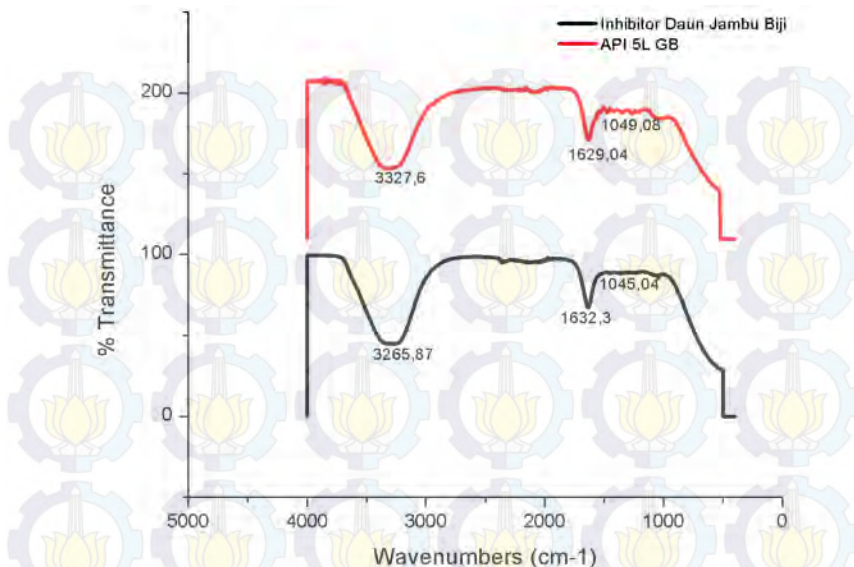
**Gambar 4.5.** Gugus Fungsi Tanin

Untuk mengetahui senyawa apakah yang terabsorpsi pada permukaan baja API 5L maka perlu dibandingkan hasil FTIR antara ekstrak daun jambu biji dengan baja API 5L yang telah direndam pada lingkungan NaCl 3.5% pH4 dengan penambahan inhibitor ekstrak daun jambu biji. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR dengan penambahan inhibitor daun jambu biji.



Gambar 4.6. Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji 1188 ppm

Dari gambar 4.6 dapat dilihat pada spectrum 3327,60 cm⁻¹ muncul gugus fungsi alcohol yaitu O-H. Hal ini diperkuat dengan serapan pada bilangan gelombang 1337,20 cm⁻¹ yang menunjukkan munculnya gugus fungsi turunan O-H tipe *primary and secondary alcohols*. Selanjutnya pada spectrum 1629,04 cm⁻¹ muncul gugus fungsi C=O yang masuk kedalam grup ketones. Pada bilangan gelombang 1263,58 cm⁻¹ muncul gugus fungsi C-O yang merupakan grup *aromatic acids* dari ester. Hal ini diperkuat dengan munculnya variable esters RCOOR pada serapan 1201,06 cm⁻¹. Pada spectrum 1049,08 cm⁻¹ memperlihatkan senyawa *carbonyl* tipe *anhydrides acyclic* dengan gugus fungsi C-O.



Gambar 4.7. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Jambu Biji dan Baja API 5L Grade B

Dari gambar 4.7 dapat dilihat kesamaan peak yang dimiliki oleh inhibitor daun jambu biji dan baja API 5L setelah perendaman dengan penambahan inhibitor daun jambu biji sebanyak 1188 ppm. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi permukaan baja terhadap inhibitor daun jambu biji, dimana adsorpsi ini berfungsi sebagai pembentuk lapisan proteksi (*film*) terhadap serangan korosi. Bila diamati dari sisi frekuensi peak masing-masing didapatkan data seperti pada tabel 4.5. Data dibawah ini menunjukkan senyawa-senyawa yang teradsorpsi pada permukaan baja API 5L dan senyawa yang terdapat pada inhibitor daun jambu biji yang memungkinkan untuk menghambat laju korosi.



Tabel 4.5. Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L setelah Perendaman dengan Inhibitor Daun Jambu Biji

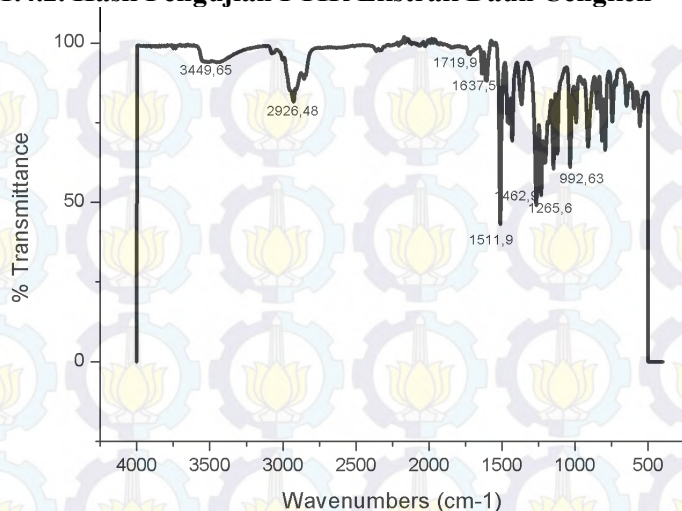
No.	Ikatan	Tipe dan Grup	Range Frekuensi (cm ⁻¹)	Inhibitor Daun Jambu Biji	Baja API 5L
1	<i>O-H str.</i>	<i>R-OH, Ar-OH polymeric</i>	3400-3230	3265,87	3327,60
2	<i>C=O str.</i>	<i>Ketones, (-CO-CH₂-CO or -CO-C=C-OH)</i>	1640-1535	1632,30	1629,04
3	<i>C-O str.</i>	<i>Carbonyl compound (Anhydride acyclic)</i>	1175-1045	1045,04	1049,08

Dari table 4.5 diperoleh senyawa fenol (-OH), ketones (C=O) dan senyawa *carbonyl* tipe *anhydrides acyclic* (C-O) yang terdapat pada kedua spectrum. Sehingga hal ini memungkinkan bahwa inhibitor ekstrak daun jambu biji dapat menghambat laju korosi dengan membentuk senyawa diatas.

Menurut Harborne (1987) komponen organik dapat berfungsi sebagai agen pengkkelat logam karena adanya satu gugus kaboksil dan dua gugus hidroksil yang berdekatan bereaksi dengan ion logam membentuk suatu kompleks yang stabil. Potensi tersebut ditunjukkan oleh posisi gugus hidroksilnya yang mampu menangkap radikal bebas dengan cara mengkkelat Fe sekaligus menstabilkan Fe. Oleh karena itu, diduga gugus fungsi yang berperan dalam interaksi antara molekul-molekul tanin dengan permukaan baja karbon adalah gugus hidroksilnya. Hal ini disebabkan karena molekul tanin mengandung gugus hidroksil (-OH) yang kaya akan pasangan electron bebas sehingga tanin dapat menyumbangkan electron bebas untuk menstabilkan radikal bebas.



4.1.4.2. Hasil Pengujian FTIR Ekstrak Daun Cengkeh



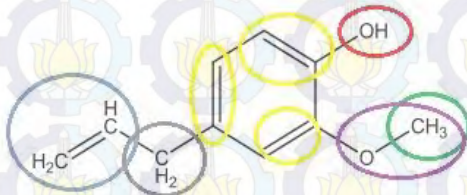
Gambar 4.8. Grafik FTIR Ekstrak Daun Cengkeh

Berdasarkan hasil uji FTIR ekstrak daun cengkeh pada gambar 4.8 didapatkan puncak – puncak yang memiliki nilai panjang gelombang dan dapat diketahui intensitasnya sehingga menunjukkan gugus fungsi dari larutan tersebut. Gugus fungsi hasil FTIR diperiksa apakah membentuk struktur eugenol. Tabel 4.6 menunjukkan gugus – gugus fungsi hasil pengujian yang ditemukan pada gugus fungsi eugenol.

Spektra eugenol pada tabel 4.6 menunjukkan adanya gugus hidroksi pada bilangan gelombang 3449,65 cm⁻¹, dan diperkuat oleh karakteristik serapan C-O alkohol pada bilangan gelombang 1148,20 cm⁻¹. Serapan pada bilangan gelombang 2926,48 cm⁻¹ merupakan serapan karakteristik CH gugus aromatik yang diperkuat dengan adanya serapan pada 816,02 cm⁻¹, gugus aromatik tersebut merupakan gugus aromatik trisubstitusi karena diperkuat dengan serapan pada bilangan gelombang 1511,9 cm⁻¹. Serapan pada bilangan gelombang 1637,5 cm⁻¹ dan 1450,87 cm⁻¹ merupakan serapan gugus C=C yang diperkuat dengan adanya



serapan pada bilangan gelombang 992,93 cm^{-1} yang merupakan serapan gugus $-\text{CH}=\text{CH}_2$.



Gambar 4.9. Gugus Fungsi Eugenol

Tabel 4.6. Gugus Fungsi Eugenol Hasil FTIR

Warna	Range Inhibitor (cm^{-1})	Range Frekuensi (cm^{-1})	Intensitas	Ikatan	Tipe dan grup
	3449.65	3550-3500	m.	O-H str.	Carboxylic acids, free OH
	~2926.48	2975-2950	m.	C-H str., asym.	Alkanes (-CH3)
	1719.9	1720-1700	s.	C=O str.	Ketones, 6-ring
	1637.5	1660-1580	s.	C=C str.	Alkenes conj. with C=O or C=C
	1605.24	1610-1550	s.		Carboxylate ion, asym. Str.
	1511.9	1525-1475	v.	i-p vib.	Aromatic homocyclic comp. C=C
	1462.99	1480-1440	m.	C-H, Scissoring	Alkanes (-CH2-)
	1450.87	ca. 1450	m.	C=C str.	Aromatic multiple bond
	1430.8	1430-1400	v.	C-H def	Ketones, esters, α -methylene scissor

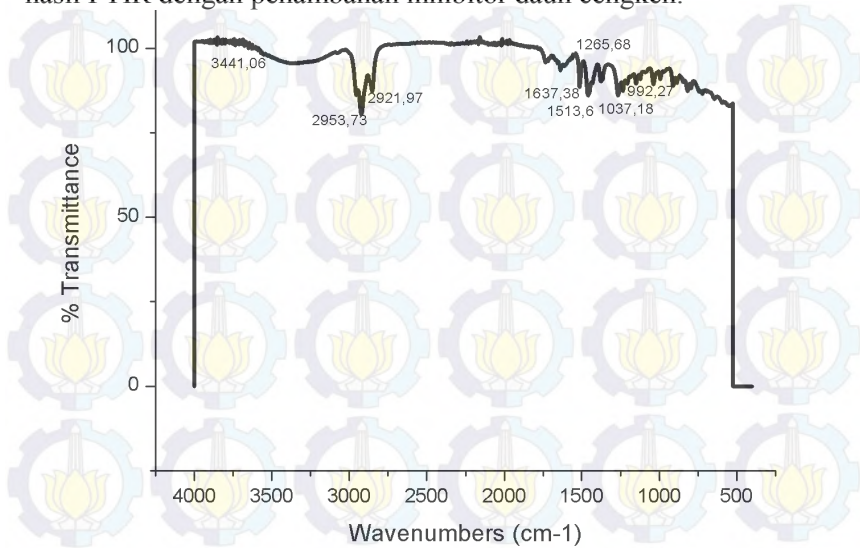


Warna	Range Inhibitor (cm-1)	Range Frekuensi (cm-1)	Intensitas	Ikatan	Tipe dan grup
	1366.18	ca. 1365	s.	C-H def	<i>Alkane, tert. butyl</i>
	1265.58	1275-1200	v.	ROR str.	<i>Conj. Ethers</i>
	1232.07	1240-1190	v.	P-O str.	<i>Aromatic phosphorus comp.</i>
	1148.2	1120-1100	s.	C-OH str.	<i>Secondary alcohols</i>
	1121.21				
	1034.24	1075-1010	v.	C-OH str.	<i>Primary alcohols</i>
	992.93	995-985	s.	C-H def	<i>Monosubstituted alkenes (RCH=CH₂)</i>
	910.7	915-905	s.	C-H def	<i>Monosubstituted alkenes (RCH=CH₂)</i>
	848.99	870-800	v.	C-H def	<i>Benzene ring with two adjacent H atoms</i>
	816.08				
	793.94	810-750	v.	C-H def	<i>Benzene ring with three adjacent H atoms</i>
	745.06				
	647.39	ca. 650	s.	S=O str.	<i>Sulfonic acids</i>
	595.61	600-500	s.	C-Br str.	<i>Bromides</i>
	556.72				

Untuk mengetahui senyawa apakah yang terabsorpsi pada permukaan baja API 5L maka perlu dibandingkan hasil FTIR antara ekstrak daun cengkeh dengan baja API 5L yang telah direndam pada lingkungan NaCl 3.5% pH4 dengan penambahan



inhibitor ekstrak daun daun cengkeh. Berikut adalah analisis dari hasil FTIR dengan penambahan inhibitor daun cengkeh.

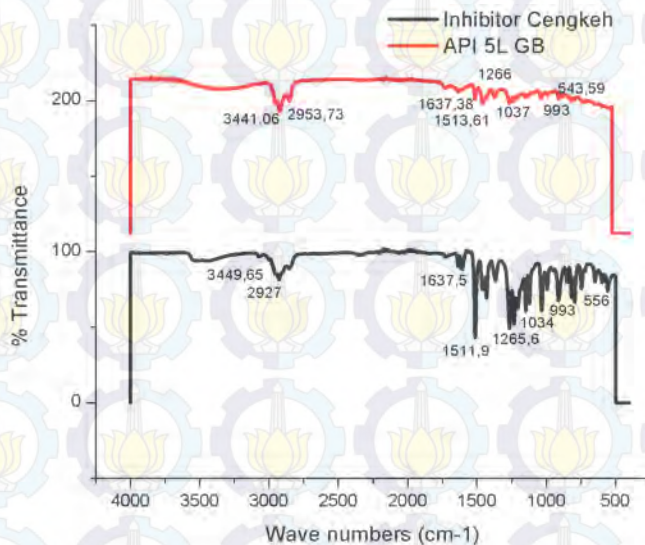


Gambar 4.10. Spektrum FTIR Baja API 5L Grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh 2304 ppm

Pada gambar 4.10 dapat dilihat menunjukkan adanya gugus hidroksi pada bilangan gelombang 3441,06 cm⁻¹, dan diperkuat oleh karakteristik serapan C-O alkohol pada bilangan gelombang 1037,18 cm⁻¹. Serapan pada bilangan gelombang 2953,73 cm⁻¹ merupakan -CH₃ asimetris. Pada bilangan gelombang 2921,97 cm⁻¹ muncul gugus fungsi -CH₂- asimetris. Pada serapan 2852,43 cm⁻¹ muncul senyawa *carbonyl* yaitu gugus *aldehydes* yang diperkuat dengan serapan pada bilangan gelombang 1743,92 cm⁻¹ yang berupa *saturated aliphatic aldehydes*. Pada bilangan gelombang 1377,06 cm⁻¹ muncul gugus fungsi *aliphatic nitro compound*. Serapan pada bilangan gelombang 1637,38 cm⁻¹ dan 1513,6 cm⁻¹ merupakan serapan gugus C=C yang diperkuat dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 992,27 cm⁻¹ yang merupakan serapan gugus -



CH=CH₂. Pada bilangan gelombang 1233,85 cm⁻¹ muncul gugus ester yaitu *aliphatic ester* dengan ikatan CH₃COOR dan diperkuat dengan serapan gelombang pada 1206,41 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya *phenolic acetat*. Pada serapan gelombang 1149,4 cm⁻¹ terjadi substitusi benzene dan diperkuat dengan gelombang 886,5 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus *Tetra-or penta-substituted benze*



Gambar 4.11. Gabungan Spektrum FTIR Inhibitor Daun Cengkeh dan Baja API 5L Grade B

Dari gambar 4.11 terlihat bahwa terdapat beberapa peak dari baja yang konturnya hampir sama dengan peak pada inhibitor daun cengkeh. Beberapa peak yang sama tersebut menunjukkan tingkat adsorpsi permukaan baja terhadap inhibitor daun cengkeh, dimana adsorpsi ini berfungsi sebagai pembentuk lapisan proteksi (*film*) terhadap serangan korosi. Bila diamati dari sisi frekuensi peak masing-masing didapatkan data seperti pada tabel 4.7. Data dibawah ini menunjukkan senyawa-senyawa yang teradsorpsi pada



permukaan baja API 5L dan senyawa yang terdapat pada inhibitor daun cengkeh yang memungkinkan untuk menghambat laju korosi.

Tabel 4.7. Perbandingan Hasil FTIR Baja API 5L setelah Perendaman dengan Inhibitor Cengkeh

No.	Ikatan	Tipe dan Grup	Range Frekuensi (cm ⁻¹)	Inhibitor Daun Cengkeh	Baja API 5L
1	<i>O-H str.</i>	<i>Carboxylic acids, free OH</i>	3550-3500	3449.65	3441.06
2	<i>C-H str., asym.</i>	<i>Alkanes (-CH₃)</i>	2975-2950	~2926.48	2953.73
3	<i>C=C str.</i>	<i>Alkenes conj. with C=O or C=C</i>	1660-1580	1637.5	1637.38
4	<i>i-p vib.</i>	<i>Aromatic homocyclic comp. C=C</i>	1525-1475	1511.9	1513.6
5	<i>ROR str.</i>	<i>Conj. Ethers</i>	1275-1200	1265.58	1265.68
6	<i>C-OH str.</i>	<i>Primary alcohols</i>	1075-1010	1034.24	1037.18
7	<i>C-H def</i>	<i>Monosubstituted alkenes (RCH=CH₂)</i>	995-985	992.93	992.27
8	<i>C-H def</i>	<i>Benzene ring with three adjacent H atoms</i>	810-750	793.94	794.74
9	<i>C-Br str.</i>	<i>Bromides</i>	600-500	556.72	543.59

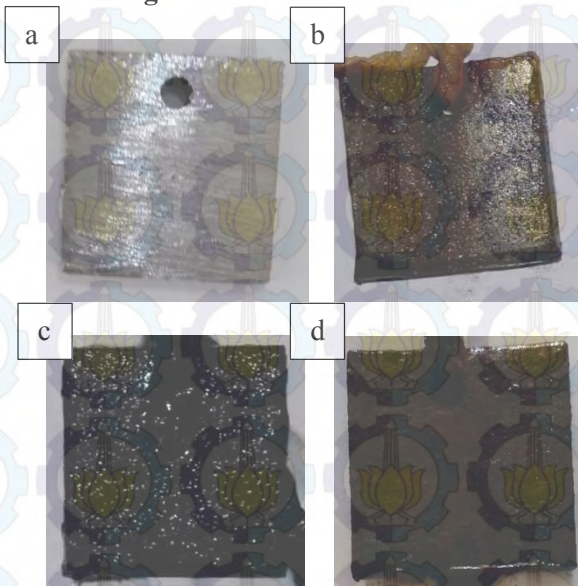
Eugenol memiliki tiga gugus pengaktivasi yaitu gugus hidroksi (-OH), gugus metoksi (-OCH₃), dan gugus propena (-C₃H₅). Gugus-gugus tersebut merupakan gugus pengarah *orto* dan *para* saat terjadi reaksi substitusi aromatik elektrofilik. Akan tetapi gugus OH merupakan gugus peng-aktivasi yang lebih kuat daripada gugus -OCH₃ dan gugus -C₃H₅, sehingga gugus OH



akan lebih dominan mempengaruhi produk dari reaksi substitusi aromatik elektrofilik yang terjadi pada eugenol (Fessenden dan Fessenden, 1986). Substitusi elektrofilik yang terjadi pada eugenol akan terjadi pada posisi *orto* atau atom karbon nomor dua dari OH yang terdapat pada eugenol. Hal ini disebabkan pada posisi *orto* dan *para* lainnya telah terikat dengan suatu gugus propenil dan gugus metoksi. (Prabawati, 2015)

Jadi dari table 4.7. diperoleh gugus hidroksi, substitusi aromatik, metoksi, dan *monosubstituted alkenes* yang terdapat pada kedua spectrum. Sehingga hal ini memungkinkan bahwa inhibitor ekstrak daun cengkeh dapat menghambat laju korosi dengan membentuk senyawa diatas.

4.1.5. Hasil Pengamatan Visual



Gambar 4.12. Pengamatan visual pada API 5L grade B (a) Sebelum perendaman (b) Tanpa inhibitor (c) Inhibitor daun jambu biji 1188 ppm dan (d) Inhibitor daun cengkeh 2304 ppm



Dari hasil pengamatan secara visual pada gambar 4.12. dapat dilihat perbedaan specimen API 5L grade B sebelum dan sesudah perendaman. Pada specimen yang telah dilakukan perendaman dan tidak diberikan penambahan inhibitor, dapat diamati bahwa pada permukaan specimen terbentuk lapisan karat berwarna oranye. Sedangkan untuk specimen dengan penambahan inhibitor daun jambu biji pada gambar, dapat dilihat terbentuk lapisan berwarna biru-kehitaman pada seluruh permukaan specimen. Lapisan berwarna biru kehitaman ini diduga adalah senyawa tannin dari inhibitor daun jambu biji yang teradsorpsi pada permukaan baja. Tanin yang teradsorpsi pada permukaan baja ini dikenal dengan sebutan *ferric-tannate*. Selanjutnya untuk specimen dengan penambahan inhibitor daun cengkeh, dapat terlihat membentuk lapisan berwarna coklat kehitaman pada seluruh permukaan specimen. Lapisan berwarna coklat kehitaman ini diduga adalah senyawa eugenol dari inhibitor daun cengkeh yang teradsorpsi pada permukaan baja. Eugenol yang teradsorpsi pada permukaan baja ini dikenal dengan eugenol-L.

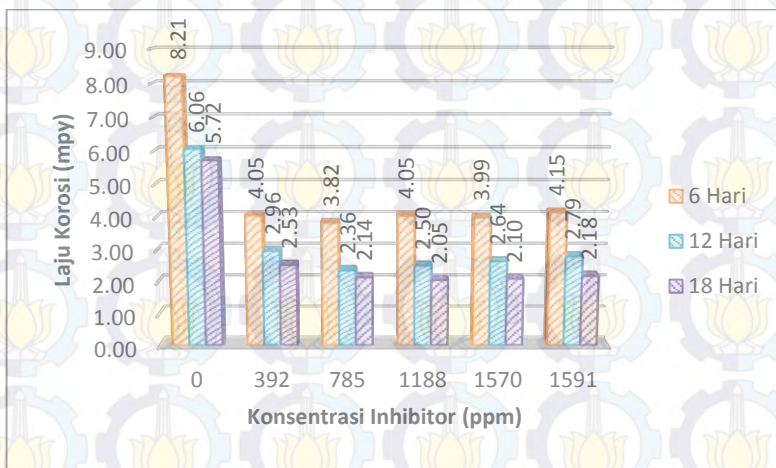
4.1.6. Hasil Pengujian Weight Loss

Pengujian *weight loss* merupakan pengujian kehilangan berat, dimana berat awal dari masing-masing logam API 5L grade B tersebut ditimbang terlebih dahulu kemudian dilakukan perendaman (*immersion*) ke dalam larutan 3,5% NaCl pH 4 dengan variasi konsentrasi inhibitor yang berbeda. Pada inhibitor daun jambu biji digunakan konsentrasi 392, 785, 1188, 1570, dan 1591 ppm. Sedangkan pada inhibitor daun cengkeh digunakan konsentrasi 1536, 1736, 1923, 2113 dan 2304 ppm. Setelah dilakukan perendaman selama masing-masing 6, 12 dan 18 hari maka dilakukan penimbangan berat akhir specimen. Prosedur pengujian *weight loss* ini berdasarkan standar ASTM G31-72.



4.1.6.1. Hasil Uji Weight Loss terhadap Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji

Pada pengujian *weight loss* dengan cara menambahkan inhibitor daun jambu biji sebesar 392, 785, 1188, 1570, dan 1591 ppm, maka diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi yang ditunjukkan pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.



Gambar 4.13. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Jambu Biji terhadap Laju Korosi API 5L Grade B

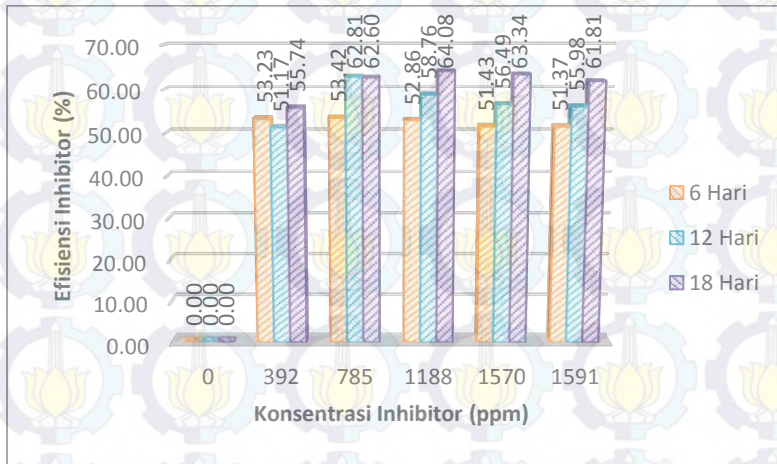
Pada gambar 4.13 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun jambu biji terhadap laju korosi terlihat bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi secara signifikan. Adapun pengambilan data *weight loss* yaitu pada interval waktu 6 hari.

Pada pengambilan data ke-6 hari, laju korosi terendah adalah 3,82 mpy dengan konsentrasi inhibitor 785 ppm. Pada pengambilan data ke-12 hari, laju korosi terendah sebesar 2,35 mpy dengan konsentrasi inhibitor 785 ppm. Kemudian pada data ke-18 hari, laju korosi terendah sebesar 2,05 mpy dengan konsentrasi 1188 ppm. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi terendah terletak



pada penambahan inhibitor sebesar 1188 ppm dengan lama waktu perendaman specimen adalah 18 hari.

Pada gambar 4.13 memperlihatkan adanya trend penurunan laju korosi pada seluruh specimen uji weight loss terhadap besarnya konsentrasi inhibitor dan waktu pengambilan specimen. Trend laju korosi tersebut mengalami penurunan hingga pada penambahan konsentrasi inhibitor daun jambu biji sebesar 785 ppm pada perendaman ke 6 dan 12 hari. Namun trend mengalami perubahan pada hari ke 18 dimana inhibitor mencapai proteksi maksimum pada konsentrasi inhibitor sebesar 1188 ppm. Ini merupakan titik laju korosi tersebut dapat dihambat dengan adanya inhibitor pada konsentrasi maksimal sebesar 1188 ppm dikarenakan pada penambahan konsentrasi 1570 ppm maka laju korosinya meningkat dari 2,05 mpy ke 2,09 mpy dan terus mengalami penurunan menjadi 2,18 mpy pada penambahan 1591 ppm dengan lama perendaman 18 hari.



Gambar 4.14. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Jambu Biji terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B

Pada pengambilan data ke-6 hari, efisiensi terbesar adalah 53,41% dengan konsentrasi 785 ppm. Pengambilan data saat data



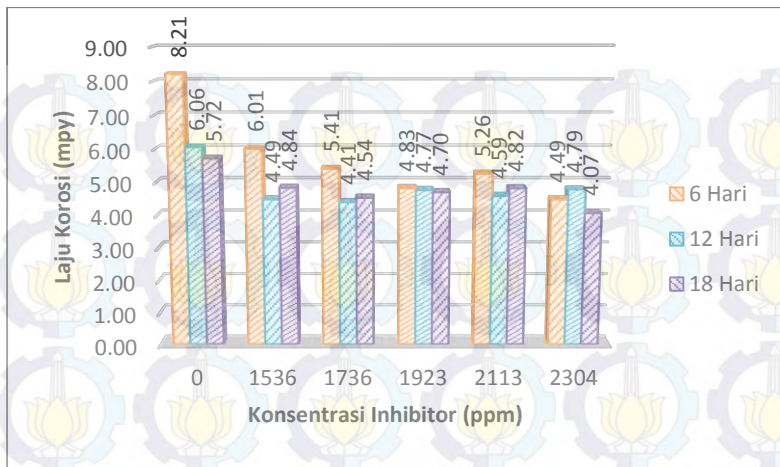
ke-12 hari, efisiensi terbesar adalah 61,12% dengan konsentrasi 785 ppm. Kemudian pengambilan data ke-18 hari, efisiensi terbesar adalah 64,08% dengan konsentrasi 1188 ppm. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi pada penambahan inhibitor daun jambu biji adalah 1188 ppm dengan lama waktu perendaman adalah 18 hari.

Gambar 4.14 yang memperlihatkan adanya trend kenaikan efisiensi inhibisi terhadap waktu perendaman. Dari seluruh specimen yang direndam, mengalami efek proteksinya hingga pada efisiensi 64,08% dengan konsentrasi 1188 ppm pada 18 hari. Pada inhibitor daun jambu biji, semakin lama waktu perendamannya, maka efisiensi inhibisinya semakin meningkat.

4.1.6.2. Hasil Uji Weight Loss Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh

Pada pengujian *weight loss* ini larutan NaCl 3,5% pH 4 ditambahkan inhibitor daun cengkeh sebanyak 1536, 1736, 1923, 2113 dan 2304 ppm. Dari hasil perendaman specimen API 5L Grade B dengan penambahan konsentrasi inhibitor ke dalam larutan NaCl 3,5% pH 4, diperoleh grafik laju korosi serta efisiensi inhibisi yang ditunjukkan pada gambar 4.15 dan gambar 4.16.

Pada gambar 4.15 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun cengkeh terhadap efisiensi inhibisi terlihat bahwa penambahan konsentrasi inhibitor ini menaikkan efisiensi inhibisi baja API 5L grade B secara signifikan. Pengambilan data weight loss dilakukan dengan interval 6 hari. Pada pengambilan data ke-6 hari, laju korosi terendah adalah 4,49 mpy dengan konsentrasi 2304 ppm. Pada pengambilan data ke-12 hari, laju korosi terendah adalah 4,41 mpy dengan konsentrasi 1736 ppm. Kemudian pada pengambilan data ke-18 hari, laju korosi terendah sebesar 4,07 mpy dengan konsentrasi 2304 ppm.

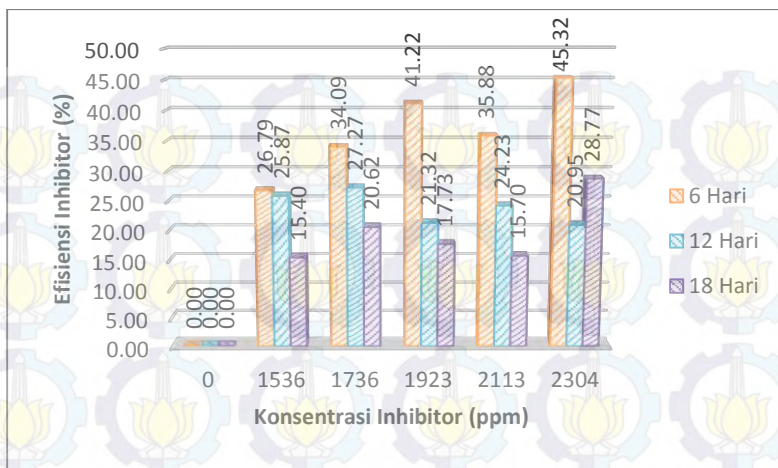


Gambar 4.15. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Cengkeh terhadap Laju Korosi API 5L Grade B

Menurut gambar 4.15 menunjukkan pengurangan laju korosi ketika penambahan inhibitor daun cengkeh. Bila ditinjau dari kenaikan efisiensi inhibisi yang berbanding terbalik dengan laju korosi, dapat dilihat pada gambar 4.16.

Pada gambar 4.16 mengenai pengaruh konsentrasi inhibitor daun cengkeh terhadap efisiensi inhibisi, terlihat trend kenaikan efisiensi inhibisi dengan ditambahkan konsentrasi tertentu. Kenaikan efisiensi inhibisi ini sangat signifikan bila dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor.

Pada pengambilan data ke-6 hari, efisiensi tertinggi adalah 45,31% dengan konsentrasi 2304 ppm. Pada pengambilan data ke-12 hari, efisiensi terbesar adalah 27,26% dengan konsentrasi 1736 ppm. Lalu, pada pengambilan data ke-18 hari, efisiensi tertinggi sebesar 28,77% dengan konsentrasi 2304 ppm. Pemberian inhibitor daun cengkeh ini sangat optimal pada konsentrasi 2304 ppm pada perendaman selama 6 hari



Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Daun Cengkeh terhadap Efisiensi Inhibisi API 5L Grade B

Gambar 4.16 yang memperlihatkan adanya trend kenaikan efisiensi inhibisi terhadap konsentrasi inhibitor. Dari seluruh specimen yang direndam, efek proteksi tertinggi hingga pada efisiensi 45,32% terjadi ketika konsentrasi 2304 ppm pada 6 hari. Pada inhibitor daun cengkeh, semakin tinggi konsentrasi inhibitor, maka efisiensi inhibisinya semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya lapisan proteksi yang terbentuk untuk menghambat korosi terserap dengan baik dan maksimal pada permukaan specimen. Dengan semakin tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan, maka efek proteksi dan inhibisinya pun menjadi lebih maksimal.

4.1.7. Teori Langmuir Adsorption Isotherm

Untuk mengidentifikasi interaksi antara inhibitor dengan permukaan baja digunakan teori Langmuir *adsorption isotherm*. Teori Langmuir ini dapat menunjukkan fenomena adsorpsi apakah yang terdapat pada permukaan baja, baik secara *physisorption* maupun *chemisorption* dimana situs dianggap homogeny dan tidak terjadi reaksi antara adsorbat dengan adsorbat dengan



menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18). Hasil perhitungan menunjukkan nilai ΔG_{ads} pada inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh dengan masing-masing penambahan konsentrasi inhibitor. Energi bebas adsorpsi pada daun jambu biji dapat dilihat pada table 4.8

Tabel 4.8. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji

Konsentrasi (mg/L)	Surface Coverage (θ)	K _{ads}	ΔG^0 (kJ/mol)
0	0	0	0
392	0.557384609	0.002518596	-4.875046016
785	0.626042314	0.001674099	-5.886951268
1188	0.640818757	0.001189407	-6.733837077
1570	0.633430535	0.000863998	-7.525766507
1591	0.618085767	0.000647356	-8.240978828

Sama halnya dengan inhibitor daun jambu biji, untuk mengidentifikasi interaksi antara inhibitor dengan permukaan baja digunakan teori Langmuir *adsorption isotherm*.

Tabel 4.9. Energi Bebas Adsorpsi pada Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh

Konsentrasi (mg/L)	Surface Coverage (θ)	K _{ads}	ΔG^0 (kJ/mol)
0	0	0	0
1536	0.267917943	0.000182984	-11.37138974
1736	0.340948027	0.000229925	-10.80562014
1923	0.412196889	0.0002805	-10.31302703
2113	0.358760242	0.000203447	-11.10874477
2304	0.453164984	0.000276235	-10.35098717



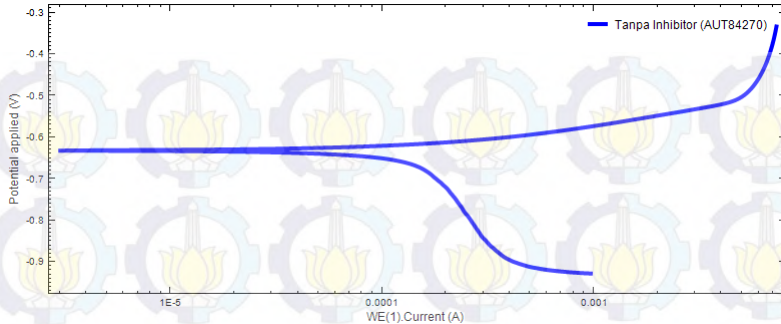
Berdasarkan nilai ΔG_{ads} , mekanisme adsorpsi dapat diketahui. Menurut Singh (2012), jika nilai ΔG°_{ads} mencapai hingga -20 kJ/mol maka berhubungan dengan interaksi elektrostatik antara permukaan logam dan molekul organik sehingga tergolong dalam *physical adsorption*. Nilai ΔG°_{ads} lebih negative daripada -40 kJ/mol tergolong dalam *chemical adsorption*. Apabila nilai ΔG°_{ads} berada dalam range -20 hingga -40 kJ/mol maka inhibitor tersebut tergolong dalam tipe adsorpsi campuran baik *physical* ataupun *chemical*. Berdasarkan nilai ΔG°_{ads} , inhibitor ekstrak daun jambu biji (table 4.8) dan daun cengkeh (table 4.9) tergolong ke dalam *physical adsorption* dimana interaksi yang lemah akibat gaya elektrostatik antara ion organik dan muatan elektrik pada permukaan logam.

4.1.8. Hasil Pengujian Tafel

Pengujian tafel dilakukan pada hasil *weight loss* dengan efisiensi paling tinggi, yaitu *weight loss* dengan inhibitor daun jambu biji pada konsentrasi 1188 ppm dan inhibitor daun cengkeh dengan konsentrasi 2304 ppm. Selain itu juga dilakukan pengujian tafel pada specimen tanpa penambahan inhibitor dilingkungan NaCl 3,5% pH 4. Hasil pengujian ini berupa kurva polarisasi tafel. Kurva tafel disajikan dalam kurva E (potensial) berbanding log i.

Penggunaan tafel fit dengan cara menarik garis linier di kedua sisi kurva bagian dalam dihasilkan nilai i_{cor} secara otomatis, sehingga nilai b_a dan b_c serta polarization resistance juga diketahui. Besarnya nilai b_a (*slope of anodic tafel reaction*), b_c (*slope of cathodic tafel reaction*) dan *polarization resistance* dari kurva diatas masing-masing adalah $-187,550$ mV/dec, $102,850$ mV/dec, dan $136,960 \Omega$. Besarnya densitas logam baja karbon API 5L grade B adalah $7,85$ g/cm³ dan nilai EW sebesar $27,925$ g/mol maka didapatkan CR sebesar $1,4486$ mmpy atau $57,9$ mpy.

Berikut adalah kurva polarisasi dari specimen baja API 5L grade B dengan larutan NaCl 3,5% pH4 tanpa inhibitor seperti pada gambar 4.17.

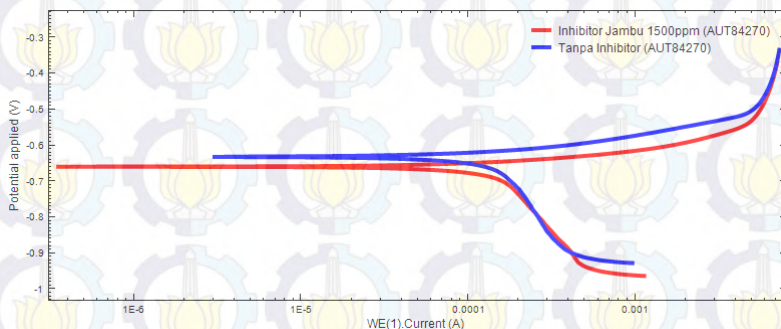


Gambar 4.17. Kurva Polarisasi API 5L pada NaCl 3,5% pH4 Tanpa Inhibitor

Setelah diketahui nilai dari *corrosion rate* pada larutan elektrolit NaCl 3,5% pH4 tanpa inhibitor yang kemudian dibandingkan kedua nilai tersebut untuk larutan elektrolit dengan penambahan inhibitor.

4.1.8.1. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji

Pengujian Tafel Polarization dengan larutan NaCl 3,5% pH4 dan penambahan inhibitor daun jambu biji ditunjukkan pada kurva polarisasi gambar 4.18 berikut ini.



Gambar 4.18. Kurva Polarisasi API 5L pada NaCl 3,5% pH 4 dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji 1188 ppm



Pada gambar 4.18 untuk mengetahui nilai b_a dan b_c maka dilakukan penarikan garis linier pada kedua sisi kurva, sehingga secara otomatis nilainya dapat ditampilkan. Nilai *polarization resistance* (R_p) pada penambahan inhibitor daun jambu biji adalah 122,880 Ω . Tabel 4.10 menunjukkan nilai hasil analisis tafel dengan tambahan inhibitor daun jambu biji.

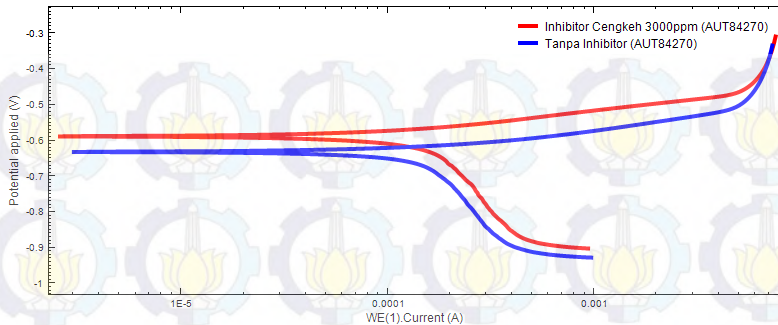
Tabel 4.10. Hasil Analisis Tafel pada Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji

Konsentrasi (ppm)	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	E_{corr} (mV)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	CR (mpy)
0	-187.550	102.850	-631.590	125	57,9
1188	1.08600	506.110	-660.020	33.512	15.135

Dari tabel 4.10 diketahui nilai E_{cor} pada penambahan inhibitor daun jambu biji lebih negatif dibandingkan tanpa inhibitor dimana selisihnya sebesar 28,43 mV. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor. Jadi, dapat disimpulkan bahwa inhibitor daun jambu biji termasuk *mixed inhibitor* karena memiliki selisih potensial korosi tidak melebihi 85 mV dan juga dapat dilihat dari bentuk kurva polarisasi penambahan inhibitor daun jambu biji ini terjadi pergeseran kurva ke arah anodik dan katodik.

4.1.8.2. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh

Pengujian Tafel Polarization dengan larutan NaCl 3,5% pH4 dan penambahan inhibitor daun cengkeh ditunjukkan pada kurva polarisasi gambar 4.19. berikut ini.



Gambar 4.19. Kurva Polarisasi API 5L pada NaCl 3,5% pH 4 dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh 2304 ppm

Pada gambar 4.19 untuk mengetahui nilai b_a dan b_c maka dilakukan penarikan garis linier pada kedua sisi kurva, sehingga secara otomatis nilainya dapat ditampilkan. Nilai *polarization resistance* (R_p) pada penambahan inhibitor daun cengkeh adalah 176,870 Ω . Tabel 4.11 menunjukkan nilai hasil analisis tafel dengan tambahan inhibitor daun cengkeh.

Tabel 4.11. Hasil Analisis Tafel pada Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh

Konsentrasi (ppm)	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	E_{corr} (mV)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	CR (mpy)
0	-187.550	102.850	-631.590	124.510	57,9
2304	1.03060	111.760	-589.130	42.653	19.54

Dari tabel 4.11 diketahui nilai E_{cor} pada penambahan inhibitor daun cengkeh lebih positif dibandingkan tanpa inhibitor dimana selisihnya sebesar 42,46 mV. Oleh karena itu disimpulkan bahwa inhibitor daun cengkeh termasuk *mixed inhibitor* karena memiliki selisih potensial korosi tidak melebihi 85 mV dan juga dapat dilihat dari bentuk kurva polarisasi penambahan inhibitor daun cengkeh ini terjadi pergeseran kurva ke arah anodik dan katodik. Selain itu, nilai i_{corr} yang menurun mengindikasikan



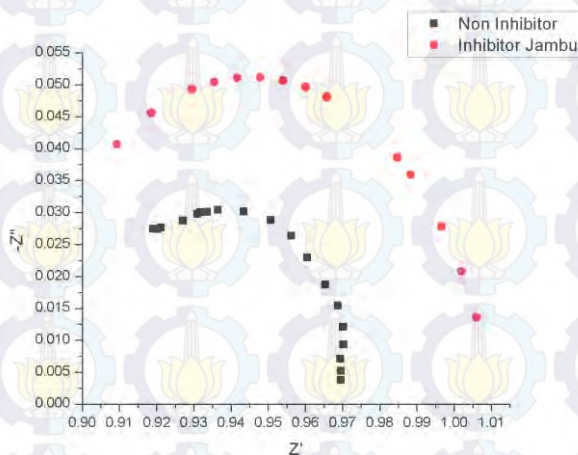
terdapat tahanan yang menghambat transfer muatan baik dari sisi katoda maupun anoda.

4.1.9. Hasil Pengujian EIS

Pengujian *Eletrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada inhibitor ekstrak daun jambu biji konsentrasi 1188 ppm dan daun cengkeh konsentrasi 2304 ppm pada spesimen baja API 5L grade B dalam media larutan NaCl 3,5% pH4 yang nantinya dijelaskan dengan parameter-parameter elektrokimia berupa rangkaian listrik yang disebut *equivalent circuit*. Pengujian EIS pada penelitian ini menggunakan mesin Autolab dengan software NOVA.

4.1.9.1 Hasil Pengujian EIS Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji

Hasil uji EIS dengan penambahan inhibitor daun jambu biji sebesar 0 ppm dan 1188 ppm dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji dalam NaCl 3,5% pH4



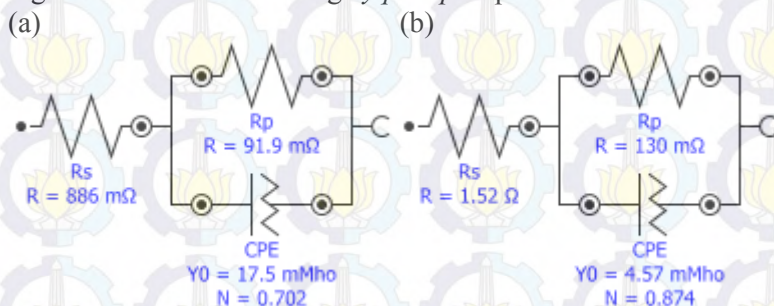
Dari hasil grafik Nyquist plot pada gambar 4.20 menunjukkan bahwa diameter Nyquist plot mengalami peningkatan saat larutan NaCl 3,5% diberi penambahan ekstrak daun jambu. Hal tersebut menandakan bahwa penambahan ekstrak daun jambu biji menghambat laju korosi pada baja API 5L grade B di media NaCl 3,5% pH4.

Grafik Nyquist dari hasil EIS dari mesin Autolab lalu diexport dan difitting pada software NOVA yang kemudian menghasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R-Resistor, C-Kapasitor dan CPE-Constant Phase Element.. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.12 yang merupakan nilai-nilai dari hasil fitting EIS dengan software NOVA.

Tabel 4.12. Data *equivalent circuit* inhibitor daun jambu biji dalam larutan NaCl 3,5% pH4

Konsentrasi (ppm)	Rs (mΩ)	Rp (mΩ)	CPE	
			Y0	N (mMho)
0	886	91,9	17,54	0,702
1188	1520	130	4,57	0,874

Berikut Gambar 4.21 hasil *equivalent circuit* yang digunakan untuk memfitting *nyquist plot* pada NOVA.



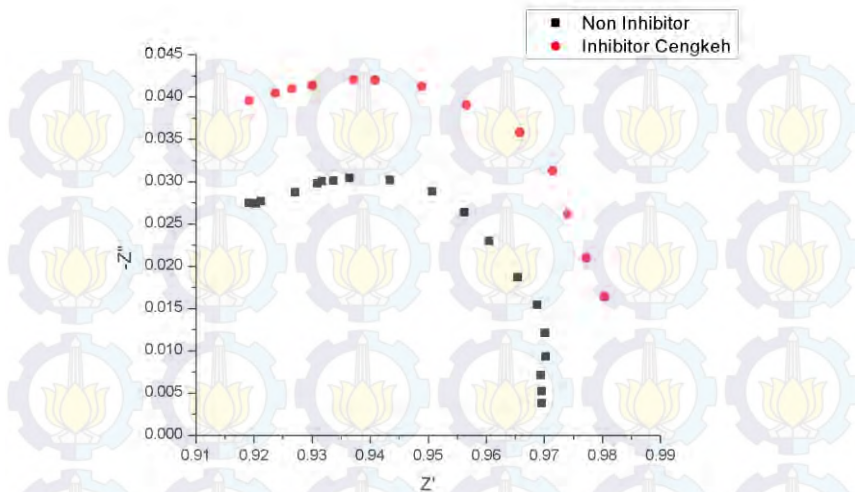
Gambar 4.21. Hasil *Equivalent Circuit* plot Nyquist dengan Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji konsentrasi (a) 0 ppm (b) 1188 ppm



Berdasarkan circuit yang terbentuk pada gambar 4.21 menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi pada sistem adalah diawali dengan adanya tahanan larutan (R_s). R_s (tahanan larutan) merupakan nilai tahanan yang dihasilkan oleh larutan antara elektroda bantu dan elektroda kerja, dimana pada penelitian ini larutan yang digunakan adalah NaCl 3,5% pH4. Hal ini terjadi karena baja API 5L *grade* B dicelupkan ke dalam larutan elektrolit NaCl 3,5% pH4 maka EIS akan mendeteksi larutan tersebut dan menghasilkan tahanan yang berupa tahanan larutan (R_s). Lalu diikuti dengan adanya tahanan polarisasi (R_p). R_p merupakan tahanan polarisasi yang menggambarkan pada saat antarmuka logam berinteraksi dengan larutan elektrolit dan terjadi pelarutan ion-ion logam. Nilai R_p sebanding dengan nilai tahanan transfer muatan (R_{ct}). Tingginya nilai R_p di konsentrasi inhibitor 1188 ppm memperlihatkan bahwa tahanan polarisasi pada konsentrasi tersebut cukup besar. Tahanan tersebut mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka logam-larutan dimana nilainya akan meningkat karena adanya penambahan inhibitor yang menunjukkan terbentuknya lapisan pasif di permukaan logam. Lapisan ini yang mengakibatkan pergerakan ion dari elektrolit menuju logam terhambat (Villamel, 2002). Jadi, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan inhibitor nilai R_p semakin besar pula. Permukaan yang tidak rata akan menyebabkan kapasitas double layer muncul sebagai CPE. Semakin banyak lapisan pasif yang terbentuk maka nilai R_{ct} akan semakin besar sedangkan nilai Cdl akan semakin kecil (Wahyuningsih, 2010). Dengan menurunnya nilai Cdl menandakan bahwa adsorpsi ekstrak daun jambu biji membuat lapisan pasif pada permukaan baja API 5L *grade* B dalam larutan NaCl 3,5% pH4.

4.1.9.2. Hasil Pengujian EIS Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh

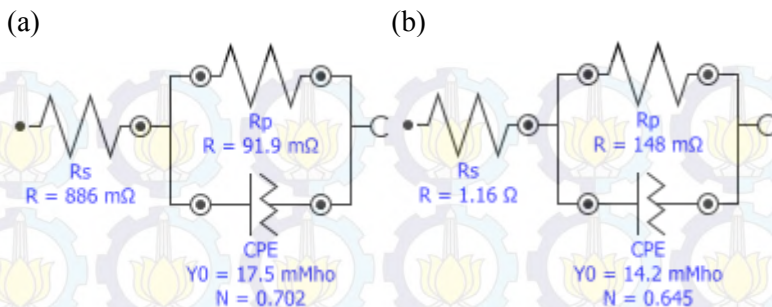
Hasil uji EIS dengan penambahan inhibitor daun cengkeh sebesar 0 ppm dan 2304 ppm dapat dilihat pada gambar 4.22



Gambar 4.22. Nyquist Plot API 5L grade B dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh dalam NaCl 3,5% pH4

Dari hasil grafik Nyquist plot gambar 4.22 menunjukkan bahwa diameter Nyquist plot mengalami peningkatan dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak daun cengkeh hingga mencapai konsentrasi maksimum lalu mengalami penurunan. Hal tersebut menandakan bahwa penambahan ekstrak daun cengkeh menghambat laju korosi pada baja API 5L *grade* B di media NaCl 3,5% pH4 dikarenakan adanya adsorpsi senyawa inhibitor dipermukaan baja karbon sehingga memperbesar nilai tahanan polarisasi (R_p).

Grafik Nyquist dari hasil EIS dari mesin Autolab lalu diexport dan difitting pada software NOVA yang kemudian menghasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R-Resistor, C-Kapasitor dan CPE-*Constant Phase Element*. Berikut gambar 4.23. hasil *equivalent circuit* yang digunakan untuk memfitting *nyquist plot* pada NOVA.



Gambar 4.23. Hasil *Equivalent Circuit* plot Nyquist dengan Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh konsentrasi (a) 0 ppm (b) 2304 ppm

Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.12 yang merupakan nilai-nilai dari hasil fitting EIS dengan software NOVA.

Tabel 4.13. Data *equivalent circuit* inhibitor daun cengkeh dalam larutan NaCl 3,5% pH4

Konsentrasi (ppm)	R_s (m Ω)	R_p (m Ω)	CPE	
			Y0	N (mMho)
0	886	91,9	17,54	0,702
2304	1160	148	14,2	0,654

Berdasarkan circuit yang terbentuk pada gambar 4.23 menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi pada sistem adalah diawali dengan adanya tahanan larutan (R_s). Lalu diikuti dengan adanya tahanan polarisasi (R_p) dan kapasitansi double layer (Cdl) dimana disini muncul sebagai CPE (Constanta Phase Element) dikarenakan permukaan specimen yang tidak rata. (Wahyuningsih, 2010).

4.2 Pembahasan

Dari hasil pengujian spectrometer terhadap Baja API 5L Grade B, diketahui bahwa baja API 5L yang digunakan tergolong baja karbon rendah karena memiliki komposisi karbon sebesar



0,116%. Baja karbon memang didesain tanpa penambahan unsur – unsur lain sehingga secara umum baja karbon memiliki ketahanan korosi yang rendah pada lingkungan – lingkungan yang bersifat asam maupun lingkungan air laut. Oleh karena itu dibutuhkan proteksi lebih untuk melindungi Baja API 5L dari korosi.

Inhibitor adalah zat yang ditambahkan kedalam suatu lingkungan dimana zat tersebut memiliki kemampuan untuk menangkal ataupun menstabilkan radikal bebas sehingga lebih stabil. Untuk mengetahui senyawa antioksidan yang terkandung pada ekstrak daun jambu biji dilakukan pengujian kandungan tanin dengan metode fitokimia. Hasilnya pada table 4.2, ekstrak daun jambu biji dengan pelarut 50% etanol, 50% aquades diperoleh kandungan tanin sebesar 13,61%. Hal ini diperkuat dengan pengujian FTIR dimana pada ekstrak daun jambu biji terdapat gugus fungsi fenolik –OH, ketones C=O dan senyawa *carbonyl* jenis *anhydrides acyclic* dengan gugus –CO. Menurut Ali (2014), tanin dapat berfungsi sebagai zat anti korosi yang dapat menggantikan fungsi kromat dan timbale merah dalam zat dasar. Dalam senyawa tanin, terdapat gugus fungsi hidroksi yang melekat pada cincin aromatis sehingga tanin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III).

Sedangkan, untuk mengetahui senyawa antioksidan yang terdapat pada daun cengkeh dilakukan pengujian kandungan senyawa aktif dengan menggunakan metode GCMS. Hasilnya dapat dilihat pada table 4.3. dimana didalam ekstrak daun cengkeh yang di ekstrak dengan petroleum eter 70% terdapat senyawa aktif berupa eugenol sebesar 66,773%. Selain tu juga terdapat senyawa β -kariofilen sebesar 10,030% dan kariofilen oksida sebesar 4,067%. Hal ini diperkuat dengan Hasil FTIR pada ekstrak daun cengkeh didapatkan gugus fungsi hidroksi (-OH), alcohol (-CO), gugus aromatik trisubstitusi dan gugus -CH=CH₂ yang merupakan *monosubstituted alkenes*. Menurut Fessenden (1986), eugenol memiliki tiga gugus pengaktivasi yaitu gugus hidroksi (-OH), gugus metoksi (-OCH₃), dan gugus propena (-C₃H₅). Gugus-



gugus tersebut merupakan gugus pengarah *orto* dan *para* saat terjadi reaksi substitusi aromatik elektrofilik. Akan tetapi gugus OH merupakan gugus peng-aktivasi yang lebih kuat daripada gugus -OCH₃ dan gugus -C₃H₅, sehingga gugus OH akan lebih dominan mempengaruhi produk dari reaksi substitusi aromatik elektrofilik yang terjadi pada eugenol .

Untuk mengetahui apakah ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh dapat menurunkan laju korosi dilakukan pengujian *weight loss*. Dari pengujian *weight loss* diketahui bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh menurunkan laju korosi secara signifikan dibandingkan tanpa penambahan inhibitor. Pada penambahan inhibitor daun jambu biji sebesar 1188 ppm pada perendaman 18 hari diperoleh laju korosi baja API 5L sebesar 2,05 mpy sedangkan tanpa penambahan inhibitor sebesar 5,72 mpy. Efisiensi inhibitor ekstrak daun jambu biji maksimum sebesar 64,08%. Sedangkan pada penambahan ekstrak daun cengkeh, diperoleh penurunan laju korosi saat penambahan inhibitor daun cengkeh sebesar 2304 ppm pada lama perendaman 6 hari yaitu sebesar 4,49 mpy dan tanpa penambahan inhibitor sebesar 8,21 mpy. Efisiensi inhibitor ekstrak daun cengkeh maksimum sebesar 45,32%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan inhibitor ekstrak daun cengkeh terhadap baja API 5L pada media NaCl 3,5% pH4 dapat menurunkan laju korosi secara signifikan dikarenakan inhibitor terabsorpsi pada permukaan logam dan membentuk lapisan pasif.

Dari pengujian tafel polarisasi diketahui bahwa inhibitor daun jambu biji dan daun cengkeh tergolong kedalam *mix-typed* inhibitor atau inhibitor campuran. Menurut Ying Yan (2008), inhibitor dapat dikategorikan anodik atau katodik jika potensial korosi bergeser lebih dari 85 mV terhadap potensial korosi tanpa inhibitor. Jadi, dapat disimpulkan bahwa inhibitor daun jambu biji dan daun cengkeh termasuk *mixed inhibitor* karena memiliki selisih potensial korosi sebesar 28,43 mV dan 42,46 mV. Selain itu terjadi penurunan nilai I_{corr} yang menandakan terdapat tahanan



yang menghambat transfer muatan baik darisisi katoda maupun anoda akibat adsorpsi senyawa inhibitor pada permukaan logam.

Sedangkan dengan pengujian EIS, diperoleh nilai tahanan polarisasi tanpa penambahan inhibitor sebesar 91,9 m Ω . Sedangkan saat diberikan penambahan inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh, tahanan transfer meningkat menjadi 130 m Ω dan 148 m Ω . Meningkatnya nilai Rp saat larutan diberi inhibitor memperlihatkan bahwa tahanan polarisasi pada konsentrasi tersebut cukup besar. Tahanan tersebut mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka logam-larutan dimana nilainya akan meningkat karena adanya penambahan inhibitor yang menunjukkan terbentuknya lapisan pasif di permukaan logam.

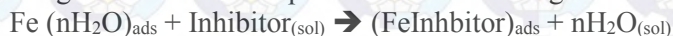
Untuk mengidentifikasi interaksi antara inhibitor dengan permukaan baja digunakan teori Langmuir *adsorption isotherm* untuk mengetahui lapisan monolayer yang terbentuk. Hasil perhitungan menunjukkan nilai ΔG_{ads} pada inhibitor ekstrak daun jambu biji dan daun cengkeh berturut-turut sebesar -6,6524 kJ/mol dan -10,789 kJ/mol. Dikarenakan nilai $\Delta G^{\circ}_{ads} < -20$ kJ/mol maka berhubungan dengan interaksi elektrostatis antara permukaan logam dan molekul organik sehingga tergolong dalam *physical adsorption*. Selain itu, bukti bahwa inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dapat dilihat melalui hasil pengujian FTIR baja API 5L grade B setelah perendaman. Dari hasil pengujian FTIR terhadap inhibitor daun jambu biji diketahui bahwa saat penambahan inhibitor daun jambu biji dengan konsentrasi 1188 ppm pada baja API 5L dilingkungan NaCl 3,5% pH4, hasil FTIR (table 4.4) menunjukkan adanya gugus fungsi fenolik -OH, ketones C=O, *aromatic acids* ester dan senyawa *carbonyl* tipe *anhydrides acyclic* dengan gugus fungsi C-O yang menempel pada permukaan baja. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa tersebut teradsorpsi pada permukaan baja membentuk lapisan proteksi sehingga menurunkan laju korosi pada baja API 5L.

Sedangkan pada saat penambahan inhibitor daun cengkeh pada baja API 5L grade B dilingkungan NaCl 3,5% pH4



diperoleh hasil FTIR (table 4.6) pada permukaan baja antara lain gugus hidroksi (-OH), C-O alcohol, C=C aromatic, gugus *monosubstitued alkenes* -CH=CH₂. Selain itu, muncul gugus substitusi benzene yang diperkuat dengan gugus *Tetra-or penta-substituted benzene*. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa tersebut teradsorpsi pada permukaan baja membentuk lapisan proteksi sehingga menurunkan laju korosi pada baja API 5L.

Mekanisme adsorpsi dari inhibitor daun jambu biji dan daun cengkeh secara fisik dapat diilustrasikan sebagai berikut :

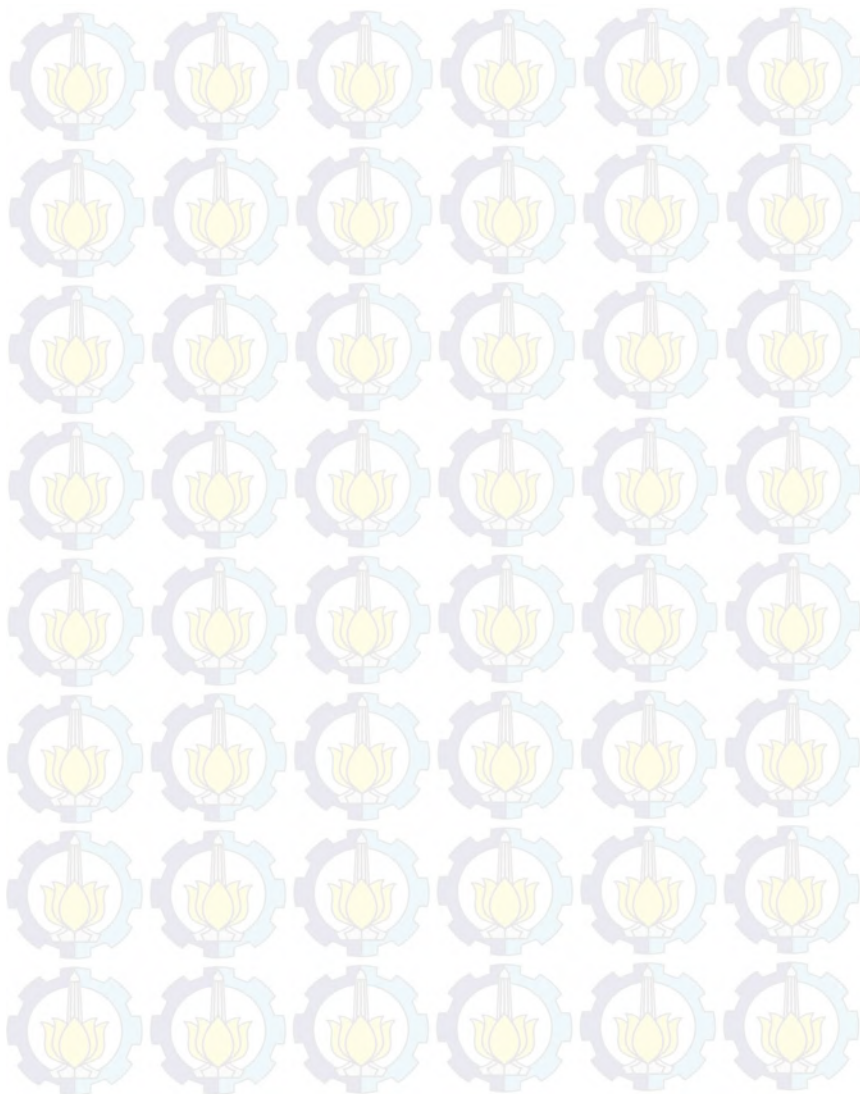


Ikatan adsorpsi tersebut yang berperan dalam memproteksi permukaan logam sehingga laju korosinya cenderung menurun. Pada permukaan baja yang diberi penambahan inhibitor daun jambu biji terdapat lapisan berwarna biru kehitaman yang diduga adalah *ferric-tannate* (Ali, 2014) sedangkan pada cengkeh terdapat lapisan coklat-kehitaman yang diduga adalah eugenol-Fe (Holde, 1985).

Dari pembahasan mengenai inhibitor daun jambu biji dan daun cengkeh diketahui inhibitor daun jambu biji memiliki kemampuan inhibisi yang lebih baik untuk memproteksi baja API 5L pada lingkungan NaCl 3,5% pH4 dibandingkan dengan ekstrak daun cengkeh. Hal ini diduga karena kandungan antioksidan yang terdapat didalam daun jambu biji yaitu tanin bekerja lebih optimal dibandingkan eugenol pada daun cengkeh. Seperti yang diketahui, aktivitas antioksidan senyawa golongan fenolik dipengaruhi oleh jumlah gugus hidroksi yang mampu menetralkan radikal bebas. Menurut Shan dkk., (2005), eugenol dan derivatnya secara normal mengandung satu gugus hidroksi dan mempunyai aktivitas penangkal radikal bebas yang relatif rendah daripada senyawa fenolik lainnya yang mengandung banyak gugus hidroksi. Selain itu, efek proteksi ekstrak daun jambu biji lebih baik dibandingkan daun cengkeh dibuktikan dengan ekstrak daun jambu biji dapat bekerja secara optimum dengan penambahan 1188 ppm dengan lama perendaman 18 hari sedangkan ekstrak daun cengkeh bekerja optimum pada penambahan inhibitor sebesar 2304 ppm dengan



lama perendaman 6 hari.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan inhibitor daun jambu biji (*Psidium guajava*) dapat menurunkan laju korosi baja API 5L grade B hingga 2,01mpy dengan efisiensi maksimal sebesar 64,08% pada konsentrasi inhibitor 1188 ppm pada perendaman 18 hari. Penambahan inhibitor daun cengkeh (*Syzygium aromaticum*) dapat menurunkan laju korosi hingga 4,07mpy baja API 5L grade B dengan efisiensi maksimal sebesar 45,32% pada konsentrasi inhibitor 2304 ppm pada perendaman 6 hari.
2. Mekanisme inhibisi dari inhibitor daun jambu biji (*Psidium guajava*) dan daun cengkeh (*Syzygium aromaticum*) adalah *physical adsorption* menurut teori Langmuir dimana terjadi interaksi yang lemah akibat gaya elektrostatik antara ion organik dan muatan elektrik pada permukaan logam.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu adanya variasi temperature, penambahan gas CO₂ dan agitasi pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor pada aplikasi yang sebenarnya.
2. Diperlukan karakterisasi lebih lanjut untuk melihat produk korosi yang terbentuk pada permukaan logam yang telah diberi inhibitor maupun yang tidak diberi inhibitor.



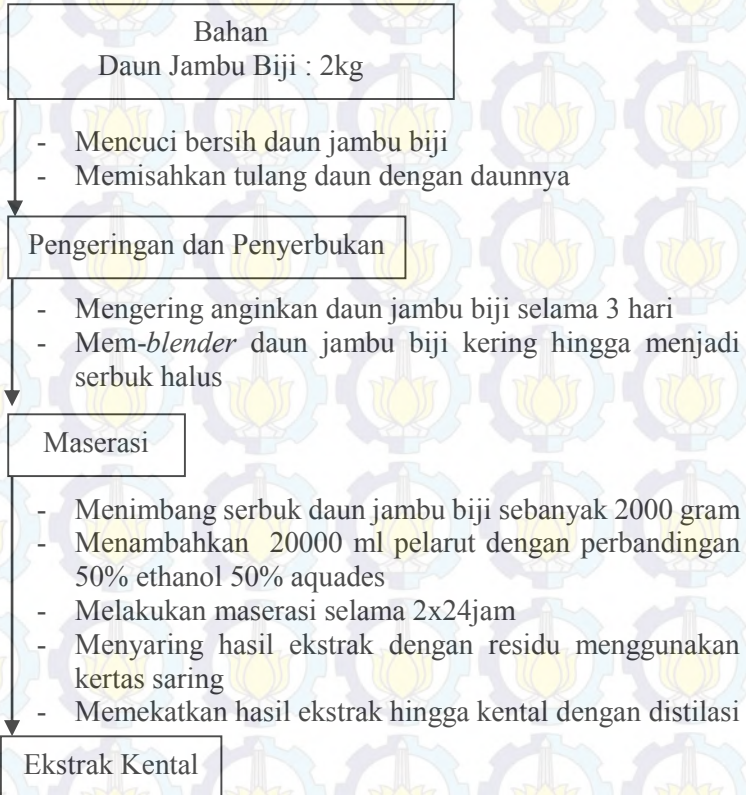
(halaman ini sengaja dikosongkan)



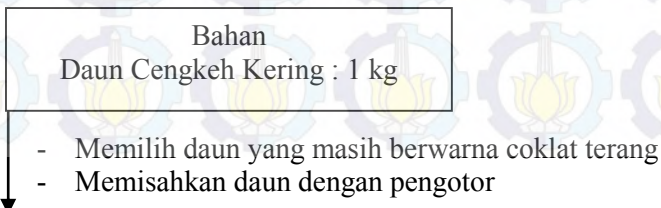
LAMPIRAN A

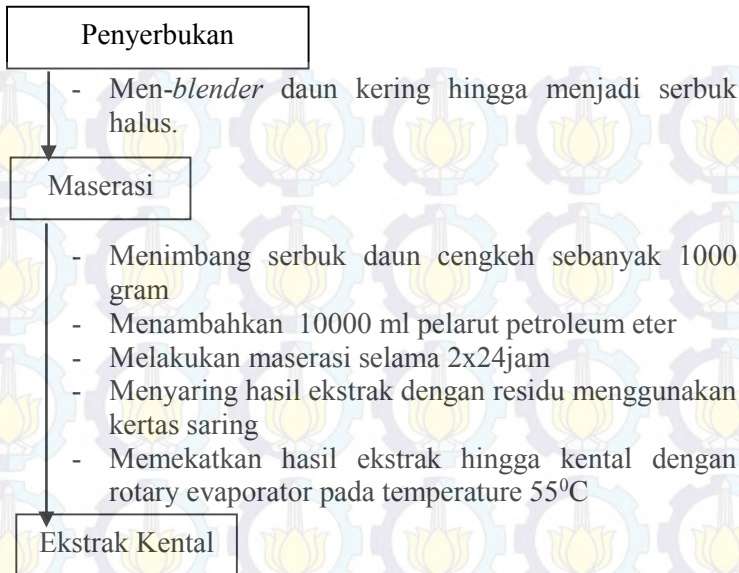
Skema Kerja

1. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Jambu Biji

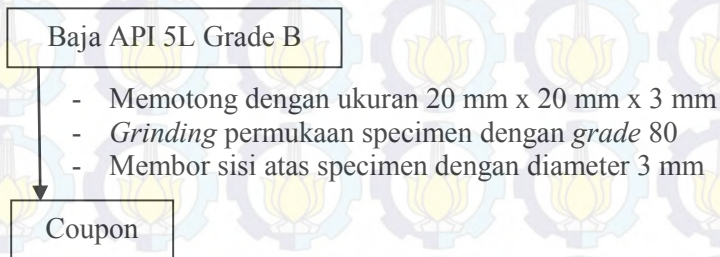


2. Pembuatan Ekstrak Inhibitor Daun Kumis Kucing

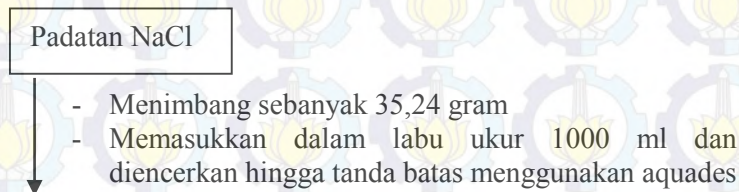




3. Pembuatan Coupon dan Elektroda Kerja



4. Pembuatan Larutan NaCl 3,5% Ph4





- Menambahkan asam asetat CH_3COOH 1M kedalam larutan hingga pH4

Larutan NaCl 3,5% pH4

5. Prosedur Uji Tafel Polarisasi

Spesimen dan Larutan Elektrolit

- Memasang kabel monitor, CPU, Nova 1.7
- Menyalakan CPU, monitor, Nova 1.7
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektroda bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam larutan
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan Program Nova 1.7

- Menyalakan program Nova 1.7
- Memilih program Polarisasi Linear sebagai program yang diinginkan
- Memasukkan parameter parameter pengujian yang diperlukan, seperti densitas, range pengujian dan lain lain.
- Melakukan pengujian dengan mengklik *run*
- Didapatkan kurva polarisasi
- Melakukan fitting pada kurva polarisasi untuk menentukan nilai E_{corr} , I_{corr} , Laju korosi, Beta katodik, dan beta anodik

Diperoleh data korosi yang diperlukan



6. Prosedur Uji EIS

Spesimen dan Larutan Elektrolit

- Memasang kabel monitor, CPU, Nova 1.7
- Menyalakan CPU, monitor, Nova 1.7
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam larutan
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan program Nova 1.7

- Menyalakan program Nova 1.7
- Memilih program EIS sebagai program yang diinginkan
- Memilih *setup view* lalu pilih *measurement impedance* untuk mengisi parameter pada EIS
- Memulai program Nova 1.7 dengan mengklik *start measurement*
- Setelah selesai klik *analysis view*, maka akan muncul grafik EIS
- Pilih Nyquist plot
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Electrochemical Circle Fit*
- Fitting di tiga titik tertentu, sehingga muncul kurva fitting. Klik kanan *Electrochemical Circle Fit*, Klik *Copy As Equivalent Circuit*.
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Fit and Simulation*, Klik edit, pada *blank page* klik kanan *Paste* maka akan didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Electrochemical Circle Fit*



- Klik *Fit and Simulation*, lalu klik edit, dan masukkan parameter parameter elektrokimia secara manual, lalu klik *Ok*. Sehingga didapat kan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Fit and Simulation*.

Equivalent circuit dan Parameter elektrokimia



LAMPIRAN B

1. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Diketahui : massa pelarut = 1000 mL
 Ditanya : massa NaCl yang dilarutkan ?
 Jawab :

$$\rho_{campuran} = \rho_{air} + \rho_{NaCl}$$

$$= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \times 3.5\%)$$

$$\rho = 1.007 \text{ g/mL}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1.007 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL}$$

$$m = 1007 \text{ gram}$$

sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah

$$\frac{3.5}{100} \times 1007 \text{ gr} = 35.24 \text{ gram}$$

2. Pembuatan Larutan CH₃COOH 1M

CH₃COOH memiliki $\rho = 1.0549 \text{ g/cm}^3$ atau g/mL
 dengan kadar 98 %, 1 mL CH₃COOH = 1.0549 gram, maka :

$$M = \frac{98 \times 10 \times 1,0549}{100 \times 60,05} = 17,135 \text{ M}$$

untuk mengencerkan hingga 1M, maka digunakan persamaan pengenceran yaitu:

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 17,135 \text{ M} = 1000 \text{ ml} \times 1 \text{ M}$$



$$V_1 = 58,36 \text{ ml}$$

Dibutuhkan larutan dengan pH4, maka jumlah CH_3COOH 1M yang ditambahkan kedalam aquades adalah

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times M}$$

$$10^{-4} = \sqrt{10^{-5} \times M}$$

$$M = \frac{10^{-8}}{10^{-5}}$$

$$M = 10^{-3} \text{ Molar}$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1\text{M} = 1000 \text{ ml} \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$V_1 = 1\text{ml}$$

Maka, CH_3COOH 1M yang harus ditambahkan pada larutan NaCl 3,5% adalah sebanyak 1ml

3. Perhitungan Inhibitor

a. Inhibitor Daun Jambu Biji

Diketahui :

- Larutan NaCl 3,5% pH 4 = 1000ml
- 1 ml ekstrak = 970,27 mg ekstrak
- Kandungan tanin dalam 250 mg = 10,93%

Ditanya :

Berapa ppm inhibitor daun jambu biji yang dimasukkan kedalam 1000ml larutan NaCl 3,5% pH4 untuk setiap penambahan 3.7, 7.4, 11.2, 14.8 dan 18.4ml ekstrak?

Jawab :

- Untuk 3.7 ml :

$$3.7 \text{ ml} = 3590 \text{ mg ekstrak}$$

$$3590 \text{ mg} = 392,387 \text{ mg tanin}$$

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}}$$



$$\frac{392,387 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} = 392 \text{ ppm}$$

- Untuk 7.4 ml :

$$\begin{aligned} 7.4 \text{ ml} &= 7179.998 \text{ mg ekstrak} \\ 7179.998 \text{ mg} &= 784,773 \text{ mg tanin} \\ 1 \text{ ppm} &= \frac{1 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{784,773 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} &= 785 \text{ ppm} \end{aligned}$$

- Untuk 11.2 ml :

$$\begin{aligned} 11.2 \text{ ml} &= 10867.024 \text{ mg ekstrak} \\ 10867.024 \text{ mg} &= 1187.765 \text{ mg tanin} \\ 1 \text{ ppm} &= \frac{1 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{1187.765 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} &= 1188 \text{ ppm} \end{aligned}$$

- Untuk 14.8 ml :

$$\begin{aligned} 14.8 \text{ ml} &= 14359.996 \text{ mg ekstrak} \\ 14359.996 \text{ mg} &= 1569.547 \text{ mg tanin} \\ 1 \text{ ppm} &= \frac{1 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{1569.547 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} &= 1570 \text{ ppm} \end{aligned}$$

- Untuk 18.4 ml :

$$\begin{aligned} 18.4 \text{ ml} &= 17852.968 \text{ mg ekstrak} \\ 17852.968 \text{ mg} &= 1951.329 \text{ mg tanin} \\ 1 \text{ ppm} &= \frac{1 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{1951.329 \text{ mg tanin}}{\text{liter larutan}} &= 1591 \text{ ppm} \end{aligned}$$



b. Inhibitor Daun Cengkeh

Diketahui :

- Larutan NaCl 3,5% pH 4 = 1000ml
- 1 ml = 970.27 mg
- Kandungan eugenol daun cengkeh 2 ml = 66.773%

Ditanya :

Berapa banyak ppm inhibitor daun cengkeh yang dimasukkan kedalam 1000ml larutan NaCl 3,5% pH4 untuk setiap penambahan 2300, 2600, 2880, 3165, dan 3450 mg ekstrak?

Jawab :

- Untuk 2300 mg :

2300 mg = 1535.779 mg eugenol

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{1535.779 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}} = 1536 \text{ ppm}$$

- Untuk 2600 mg :

2600 mg = 1736.098 mg eugenol

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{1736.098 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}} = 1736 \text{ ppm}$$

- Untuk 2880 mg :

2880 mg = 1923.06 mg eugenol

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}} \\ \frac{1923.06 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}} = 1923 \text{ ppm}$$



- Untuk 3165 mg :

3165 mg = 2113.365 mg eugenol

$$\frac{1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}}}{\frac{2113.365 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}}} = 2113 \text{ ppm}$$

- Untuk 3450 mg :

3450 mg = 2303.67 mg eugenol

$$\frac{1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}}}{\frac{2303.67 \text{ mg eugenol}}{\text{liter larutan}}} = 2304 \text{ ppm}$$



LAMPIRAN C

1. Hasil Pengujian Spektrometer



barata indonesia PT. (PUSKAS)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : API 5L Grade B

Customer : ITS

Furnace : NA

Name of Equipment : NA

Heat No : NA

Order No : NA

Lab. No : 28102015/00

Material :

Spektralanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ko	Ni
1	99,1	0,115	0,222	0,378	0,0289	0,0576	0,0331	0,0027	0,0273
Ave	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0576	0,0331	0,0027	0,0273
	Al	Co	Cu	Mb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013
Ave	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013
	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb		
1	< 0,0003	0,0026	< 0,0015	0,0140	0,0038	0,0096	< 0,0030		
Ave	< 0,0003	0,0026	< 0,0015	< 0,0140	0,0038	0,0096	< 0,0030		

Town
Gresik

Date
28/10/2015

Tester
M.Vift Susanto

QC. Manager
Beny Andika ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

barata indonesia PT. (PUSKAS)



2. Hasil Pengujian Tanin



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG Kelompok Keahlian Biologi Farmasi Sekolah Farmasi

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Telp/Fax : 62-22-2508143

HASIL PENGUJIAN KADAR TANIN

1. Sampel

- Simplisia Daun Jambu
- Ekstrak Etanol Daun Jambu

Asal sampel : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

2. Pengujian

Metode yang digunakan mengacu pada :

Determination of Tannins, Quality control methods for medicinal plant materials, WHO

Pada setiap sampel dilakukan tiga kali pengulangan pengujian.

3. Hasil pengujian

- Kadar tanin pada Simplisia Daun Jambu : $5,2 \pm 0,87$ %
- Kadar tanin pada Ekstrak Etanol Daun Jambu : $10,93 \pm 0,90$ %

4. Penguji

Dr. Irida Fitrianny
Evelyne Nadia Halim, M.Si
Eli Sumiyati

Bandung, 6 Januari 2016
Ketua KK Biologi Farmasi ITB



KK BIOLOGI FARMASI
Sekolah Farmasi ITB

Prof. Dr. Komar Ruslan Wirasutisna
NIP : 19491020 197603 1 001



3. Hasil Pengujian GCMS

Area Percent Report

Data Path : C:\MSDCHEM\1\DATA\PROFILING\
Data File : 19111502.D
Acq On : 19 Nov 2015 12:44
Operator : 001
Sample : 11-263
Misc : 0.2 uL splitless
ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Integration Parameters: rteint.p
Integrator: RTE
Smoothing : ON
Sampling : 1
Start Thrs: 0.2
Stop Thrs : 0

Filtering: 5
Min Area: 0.2 % of largest Peak
Max Peaks: 100
Peak Location: TOP

If leading or trailing edge < 100 prefer < Baseline drop else tangent >
Peak separation: 5

Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\WARM.M
Title :

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	8.115	1255	1263	1267	rBV	174893	256020	0.55%	0.368%
2	12.084	1865	1887	1912	rBV	10717884	46430745	100.00%	66.773%
3	12.288	1913	1919	1931	rVB	124610	192501	0.41%	0.277%
4	12.899	2005	2015	2024	rBV	4198754	6974722	15.02%	10.030%
5	13.325	2076	2082	2091	rVB	659861	942022	2.03%	1.355%
6	14.935	2321	2335	2348	rVB	1733996	2827943	6.09%	4.067%
7	15.234	2374	2382	2389	rVB	197726	302426	0.65%	0.435%
8	15.539	2426	2430	2448	rVB2	74125	163771	0.35%	0.236%
9	15.914	2480	2489	2508	rVB2	218048	438971	0.95%	0.631%
10	17.441	2723	2729	2738	rVB2	49680	96075	0.21%	0.138%
11	18.784	2934	2940	2963	rBV	79595	178548	0.38%	0.257%
12	20.253	3162	3171	3183	rBV	45826	119952	0.26%	0.173%
13	23.644	3698	3704	3713	rBV	723841	1202151	2.59%	1.729%
14	23.880	3736	3741	3753	rVB2	104059	215997	0.47%	0.311%
15	25.050	3921	3925	3929	rBV	192501	312465	0.67%	0.449%
16	25.495	3991	3995	4003	rVB	149569	294109	0.63%	0.423%
17	26.049	4078	4082	4092	rVB	141088	307057	0.66%	0.442%
18	26.882	4205	4213	4252	rVB	339237	2305634	4.97%	3.316%
19	28.969	4533	4541	4564	rVB2	340519	1364185	2.94%	1.962%
20	29.656	4639	4649	4658	rBV	424608	1586920	3.42%	2.282%
21	34.727	5431	5446	5490	rVB5	398193	3023117	6.51%	4.348%

Sum of corrected areas: 69535331

WARM.M Thu Nov 19 13:36:49 2015

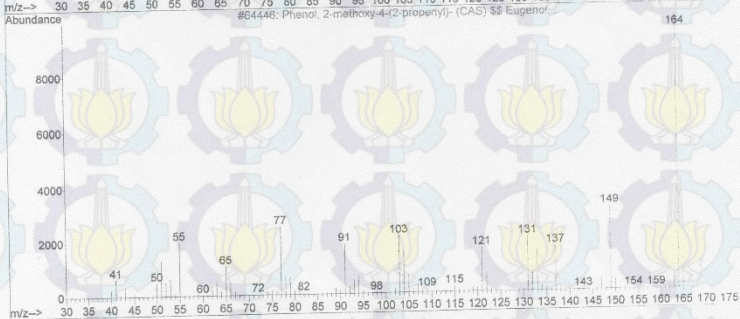
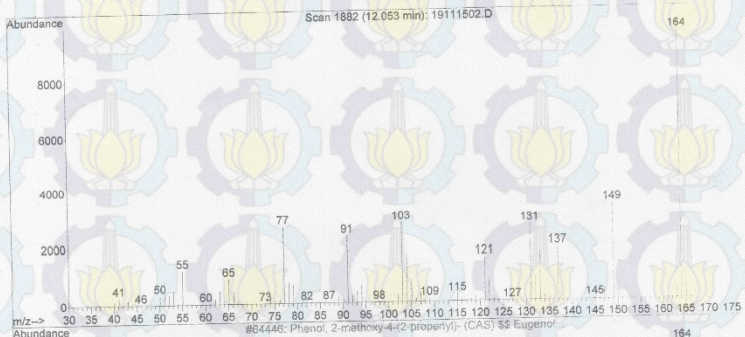


Library Searched : C:\Database\wiley7n.1

Quality

ID

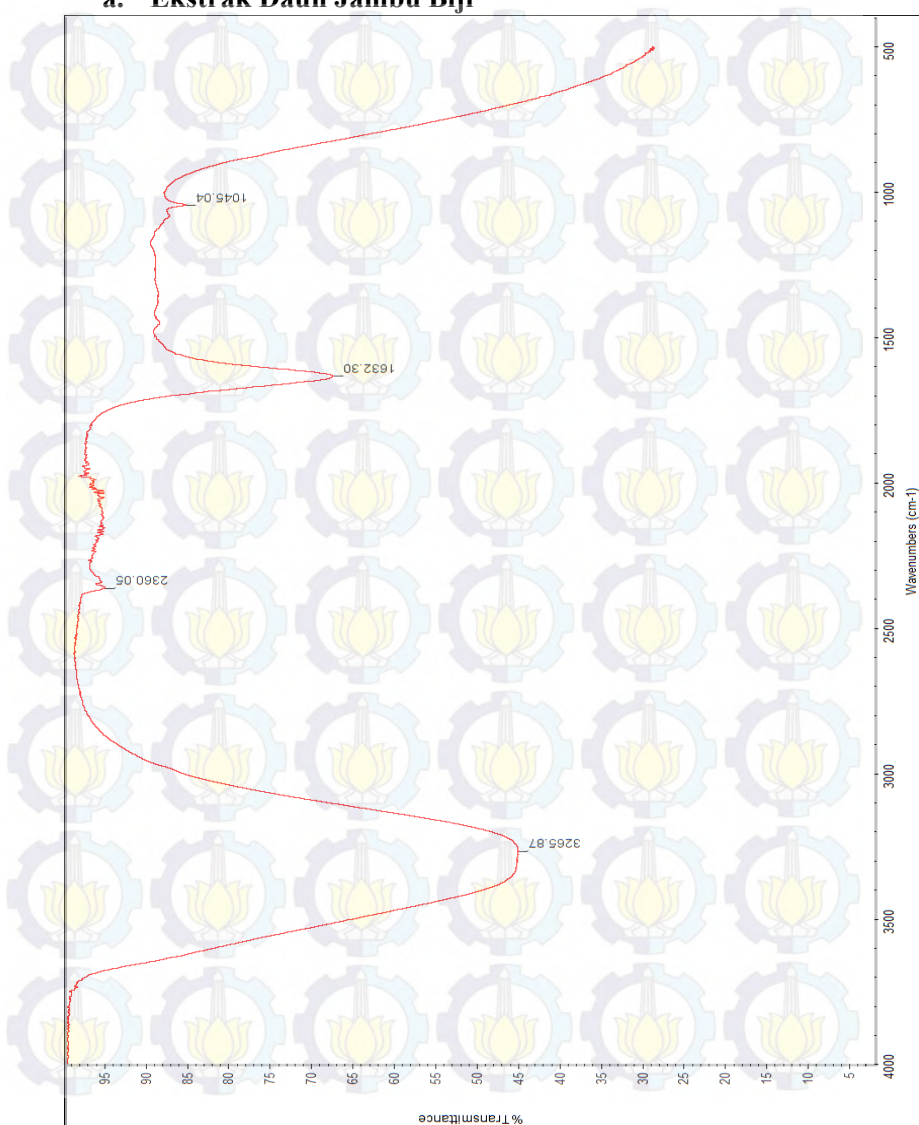
: 98
: Phenol, 2-methoxy-4-(2-propenyl)- (CAS) \$\$ Eugenol \$\$ 1
: -(2-PROPENYL)-4-HYDROXY-3-METHOXYBENZENE \$\$ Eugenol \$\$
: p-Eugenol \$\$ Eugenol acid \$\$ 4-Allylguaiacol \$\$ p-Allyl
: guaiacol \$\$ Caryophyllol acid \$\$ 4-Allyl-2-methoxypheno
: 1 \$\$ 2-Methoxy-4-allylphenol \$\$ Phe





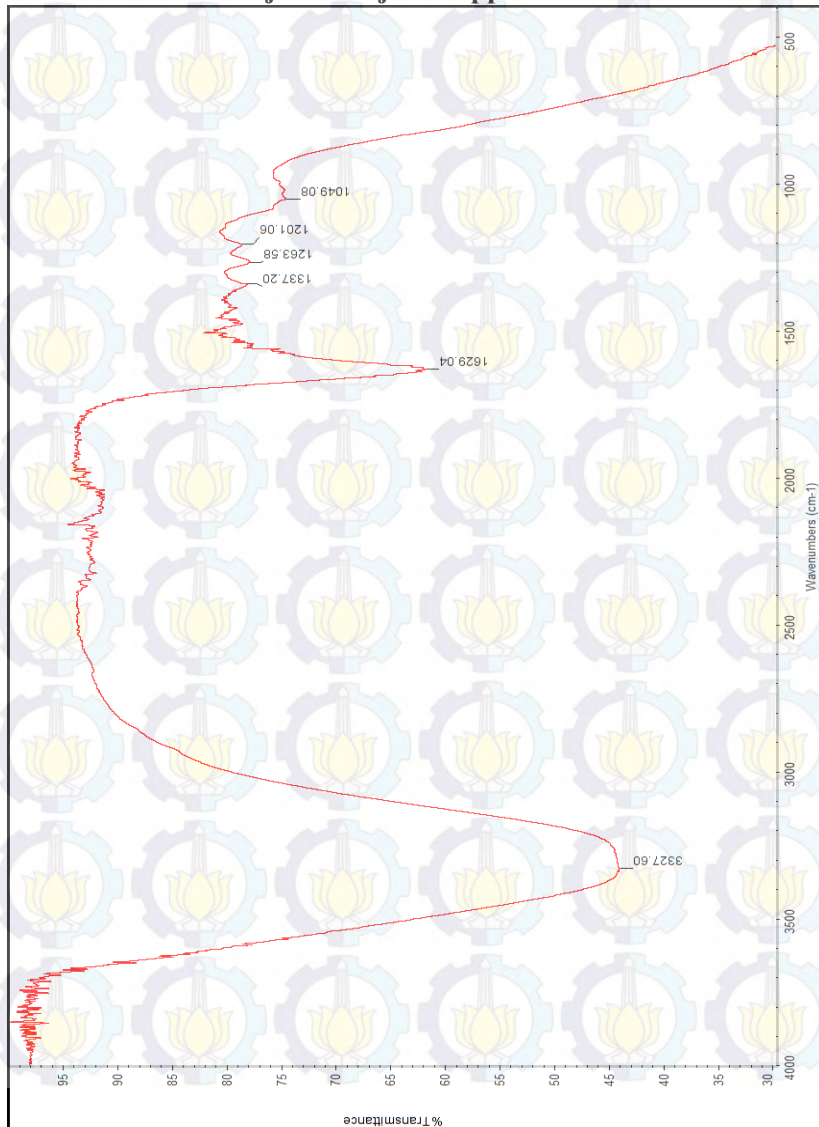
4. Hasil Pengujian FTIR

a. Ekstrak Daun Jambu Biji



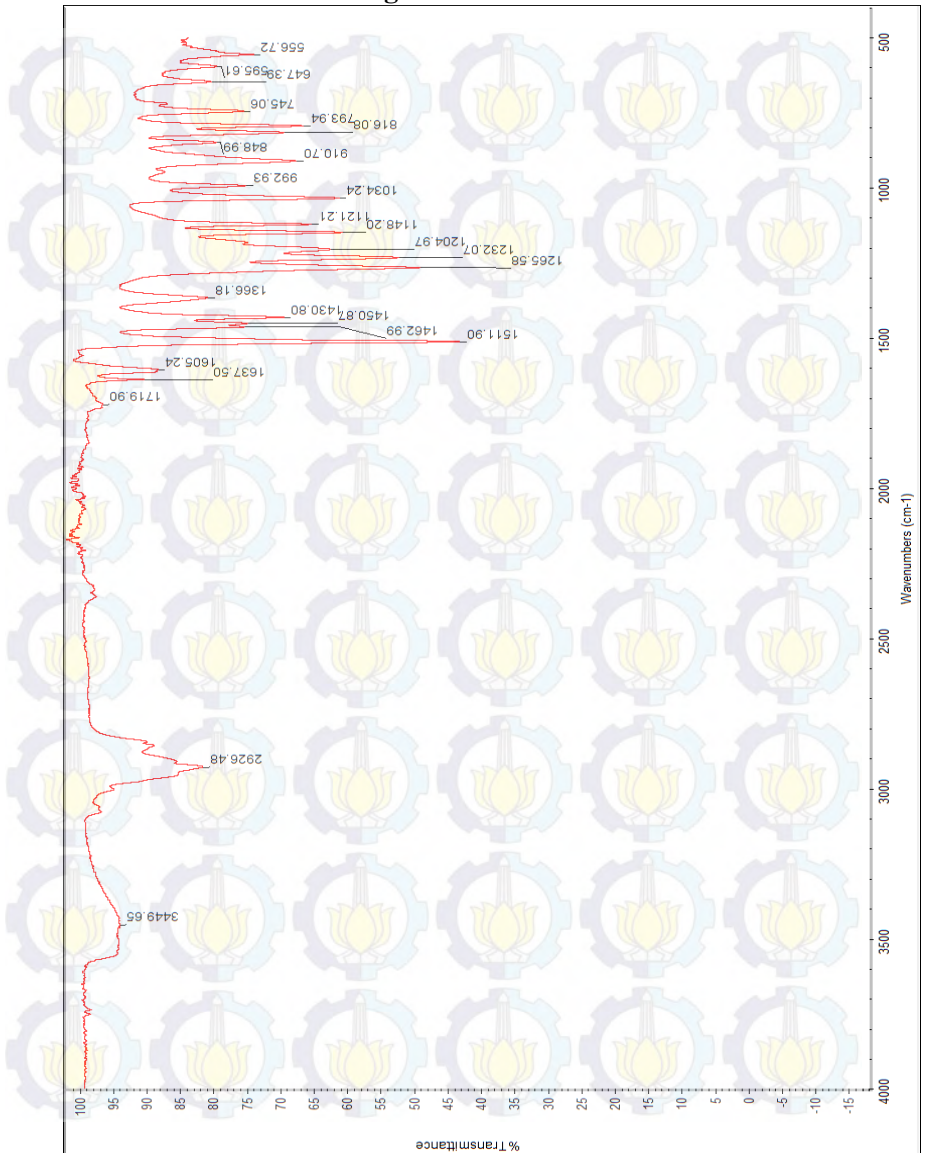


b. API 5L GB setelah perendaman dengan penambahan ekstrak daun jambu biji 1188 ppm



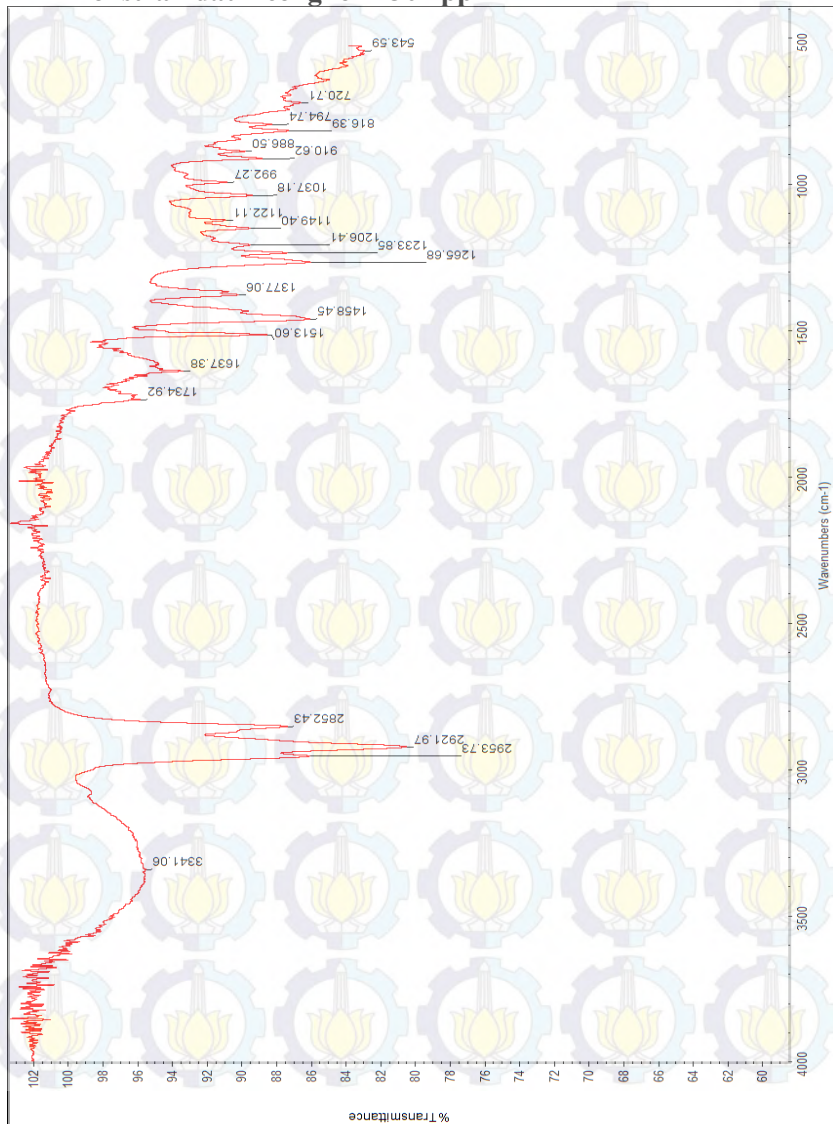


c. Ekstrak Daun Cengkeh





d. API 5L GB setelah perendaman dengan penambahan ekstrak daun cengkeh 2304 ppm





5. Hasil Pengujian *Weight loss*

a. Penambahan Inhibitor Daun Jambu Biji

6 hari

Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI06 (1)	11.6104	11.5853	0.0251	7.6789	0
TI06 (2)	11.3088	11.2803	0.0285	8.7191	0
TI06 (3)	11.3000	11.2731	0.0269	8.2296	0
IJ6, 392 (1)	11.6071	11.5941	0.0130	3.9771	51.5528
IJ6, 392 (2)	11.1511	11.1390	0.0121	3.7018	54.9068
IJ6, 392 (3)	11.3150	11.3004	0.0146	4.4666	45.5901
IJ6, 785 (1)	11.4154	11.4032	0.0122	3.7324	54.5342
IJ6, 785 (1)	11.0545	11.0424	0.0121	3.7018	54.9068
IJ6, 785 (1)	11.5753	11.5621	0.0132	4.0383	50.8075
IJ6, 1188 (1)	11.2214	11.2084	0.0130	3.9771	51.5528
IJ6, 1188 (2)	10.3272	10.3149	0.0123	3.7630	54.1615
IJ6, 1188 (3)	11.5230	11.5086	0.0144	4.4054	46.3354
IJ6, 1570 (1)	11.6060	11.5927	0.0133	4.0689	50.4348
IJ6, 1570 (2)	11.1016	11.0893	0.0123	3.7630	54.1615
IJ6, 1570 (3)	11.0809	11.0674	0.0135	4.1301	49.6894
IJ6, 1591 (1)	11.7473	11.7327	0.0146	4.4666	45.5901
IJ6, 1591 (2)	11.6368	11.6241	0.0127	3.8853	52.6708
IJ6, 1591 (3)	11.0516	11.0382	0.0134	4.0995	50.0621

12 hari

Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI12 (1)	11.3614	11.3188	0.0426	6.2291	0



Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI12 (2)	11.0233	10.9834	0.0399	5.8343	0
TI12 (3)	10.7390	10.6972	0.0418	6.1122	0
IJ12, 392 (1)	11.9034	11.8822	0.0212	3.2494	46.3666
IJ12, 392 (2)	11.4698	11.4522	0.0176	2.6976	55.4742
IJ12, 392 (3)	11.7899	11.7708	0.0191	2.9275	51.6794
IJ12, 785 (1)	10.8542	10.8394	0.0148	2.2685	62.5578
IJ12, 785 (1)	11.6112	11.5945	0.0167	2.5597	57.7511
IJ12, 785 (1)	11.4085	11.3939	0.0146	2.2378	63.0638
IJ12, 1188 (1)	11.5243	11.5087	0.0156	2.3911	60.5339
IJ12, 1188 (2)	11.6831	11.6669	0.0162	2.4830	59.0160
IJ12, 1188 (3)	11.2907	11.2736	0.0171	2.6210	56.7391
IJ12, 1570 (1)	11.5232	11.5073	0.0159	2.4371	59.7750
IJ12, 1570 (2)	11.3962	11.3786	0.0176	2.6976	55.4742
IJ12, 1570 (3)	11.6990	11.6809	0.0181	2.7743	54.2093
IJ12, 1591 (1)	11.7500	11.7302	0.0198	3.0348	49.9085
IJ12, 1591 (2)	11.0219	11.0045	0.0174	2.6670	55.9802
IJ12, 1591 (3)	11.6232	11.6058	0.0174	2.6670	55.9802

18 hari

Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI18 (1)	10.7570	10.7018	0.0552	5.6292	0
TI18 (2)	11.8709	11.8134	0.0575	5.8637	0
TI18 (3)	11.3411	11.2856	0.0555	5.6598	0
IJ18, 392 (1)	11.1647	11.1429	0.0218	2.2231	61.1177
IJ18, 392 (2)	11.4722	11.4479	0.0243	2.4781	56.6587



Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
IJ18, 392 (3)	12.2525	12.2260	0.0265	2.5833	54.8182
IJ18, 785 (1)	12.3272	12.3035	0.0237	2.3103	59.5921
IJ18, 785 (1)	11.6310	11.6095	0.0215	2.0959	63.3431
IJ18, 785 (1)	11.2189	11.1983	0.0206	2.0081	64.8775
IJ18, 1188 (1)	11.3228	11.3030	0.0198	1.9302	66.2415
IJ18, 1188 (2)	11.9816	11.9599	0.0217	2.1154	63.0021
IJ18, 1188 (3)	11.4771	11.4554	0.0217	2.1154	63.0021
IJ18, 1570 (1)	11.9241	11.9031	0.0210	2.0471	64.1955
IJ18, 1570 (2)	11.2791	11.2586	0.0205	1.9984	65.0480
IJ18, 1570 (3)	11.7920	11.7690	0.0230	2.2421	60.7856
IJ18, 1591 (1)	11.5526	11.5333	0.0193	1.8814	67.0940
IJ18, 1591 (2)	11.8875	11.8647	0.0228	2.2226	61.1266
IJ18, 1591 (3)	11.9045	11.8825	0.0220	2.1446	62.4906

**b. Penambahan Inhibitor Daun Cengkeh
6 hari**

Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI06 (1)	11.6104	11.5853	0.0251	7.6789	0
TI06 (2)	11.3088	11.2803	0.0285	8.7191	0
TI06 (3)	11.3000	11.2731	0.0269	8.2296	0
IC6, 1536 (1)	11.9081	11.8886	0.0195	5.7027	30.5324
IC6, 1536 (2)	11.3634	11.3418	0.0216	6.3169	23.0512
IC6, 1536 (3)	12.0693	12.0454	0.0239	6.9895	14.8576
IC6, 1736 (1)	12.1006	12.0762	0.0244	7.1357	13.0764
IC6, 1736 (2)	12.2375	12.2208	0.0167	4.8839	40.5072



Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
IC6, 1736 (3)	11.3549	11.3346	0.0203	5.9367	27.6824
IC6, 1932 (1)	12.3742	12.3564	0.0178	5.2056	36.5885
IC6, 1932 (2)	11.9384	11.9232	0.0152	4.4452	45.8509
IC6, 1932 (3)	12.0226	12.0012	0.0214	6.2584	23.7637
IC6, 2113 (1)	11.6828	11.6635	0.0193	5.6442	31.2448
IC6, 2113 (2)	12.1104	12.0937	0.0167	4.8839	40.5072
IC6, 2113 (3)	11.4677	11.4478	0.0199	5.8197	29.1074
IC6, 2304 (2)	11.6930	11.6781	0.0149	4.3575	46.9196
IC6, 2304 (3)	12.2758	12.2600	0.0158	4.6207	43.7134

12 Hari

Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI12 (1)	11.3614	11.3188	0.0426	6.2291	0
TI12 (2)	11.0233	10.9834	0.0399	5.8343	0
TI12 (3)	10.7390	10.6972	0.0418	6.1122	0
IC12, 1536 (1)	11.4671	11.4372	0.0299	4.5829	24.3567
IC12, 1536 (2)	11.5410	11.5123	0.0287	4.3990	27.3926
IC12, 1536 (3)	12.0192	11.9734	0.0458	7.0199	-15.8683
IC12, 1736 (1)	10.9680	10.9565	0.0115	1.7626	70.9064
IC12, 1736 (2)	11.5090	11.4819	0.0271	4.1537	31.4404
IC12, 1736 (3)	12.0741	12.0437	0.0304	4.6595	23.0918
IC12, 1923 (1)	10.6956	10.6593	0.0363	5.5638	8.1655
IC12, 1923 (2)	11.0739	11.0430	0.0309	4.7362	21.8269
IC12, 1923 (3)	11.9031	11.8718	0.0313	4.7975	20.8149
IC12, 2113 (1)	10.9306	10.8995	0.0311	4.7668	21.3209



Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
IC12, 2113 (2)	11.0921	11.0633	0.0288	4.4143	27.1396
IC12, 2113 (3)	10.6259	10.5816	0.0443	6.7900	-12.0735
IC12, 2304 (1)	11.2901	11.2584	0.0317	4.8588	19.8030
IC12, 2304 (2)	11.0255	10.9931	0.0324	4.9661	18.0320
IC12, 2304 (3)	12.0580	12.0255	0.0325	4.5433	25.0099

18 hari

Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
TI18 (1)	10.7570	10.7018	0.0552	5.6292	0
TI18 (2)	11.8709	11.8134	0.0575	5.8637	0
TI18 (3)	11.3411	11.2856	0.0555	5.6598	0
IC18, 1536 (1)	12.4716	12.4204	0.0512	4.7716	16.5438
IC18, 1536 (2)	12.6555	12.6011	0.0544	5.0699	11.3278
IC18, 1536 (3)	11.9814	11.9313	0.0501	4.6691	18.3368
IC18, 1736 (1)	11.7199	11.6708	0.0491	4.5759	19.9668
IC18, 1736 (2)	12.3810	12.3327	0.0483	4.5014	21.2708
IC18, 1736 (3)	10.6850	10.6294	0.0556	5.9440	-3.9613
IC18, 1923 (1)	11.1760	11.1219	0.0541	5.7837	-1.1566
IC18, 1923 (2)	11.4144	11.3718	0.0426	4.5542	20.3462
IC18, 1923 (3)	10.9826	10.9372	0.0454	4.8536	15.1107
IC18, 2113 (1)	10.3059	10.2656	0.0403	4.5172	20.9937
IC18, 2113 (2)	10.0658	10.0201	0.0457	5.1225	10.4072
IC18, 2113 (3)	10.0976	10.0421	0.0555	6.2210	-8.8052
IC18, 2304 (1)	9.8837	9.8466	0.0371	4.1677	27.1065

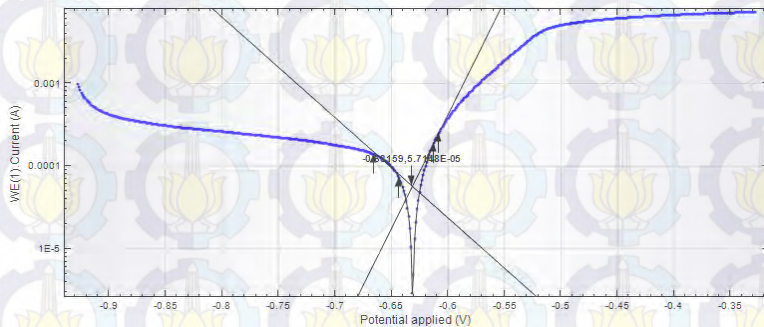


Kode	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Selisih (gr)	CR (mpy)	IE (%)
IC18, 2304 (2)	10.6709	10.6256	0.0453	4.6196	19.2033
IC18, 2304 (3)	12.2887	12.2461	0.0426	3.9774	30.4344

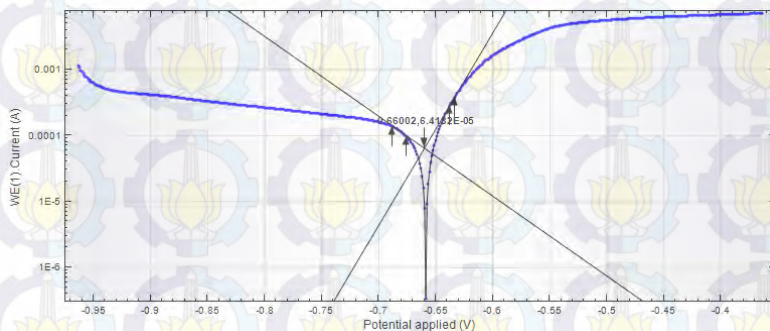
6. Hasil Pengujian Tafel Polarisasi, Corrosion rate (fit)

7.

a. Tanpa Penambahan Inhibitor

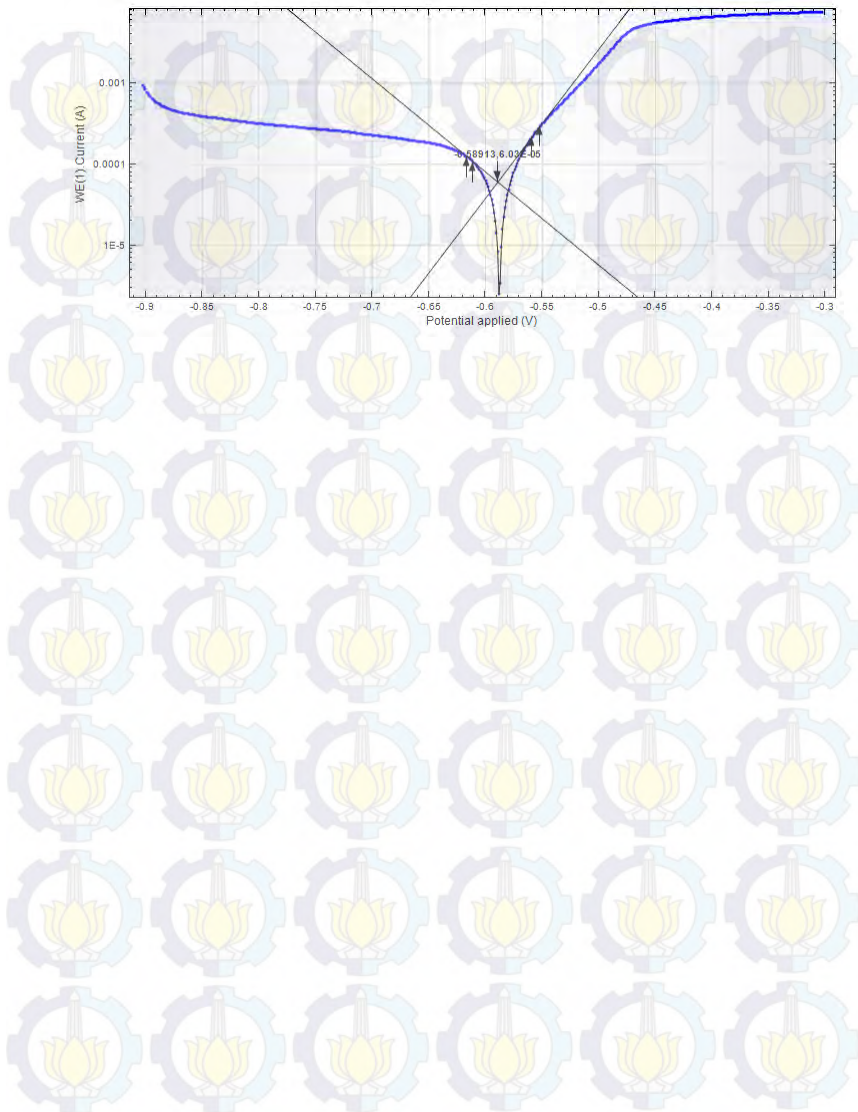


b. Inhibitor Daun Jambu Biji 1188 ppm





c. Inhibitor Daun Cengkeh 2304 ppm





(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- [EOA] Essential Oil Association of USA. 1975. *EGA Specifications and standards*. New York: EOA
- Abiola, O.K., Tobun, Y., 2010. *Cocos nucifera L. water as green corrosion inhibitor for acid corrosion of aluminium in HCl solution*. Chinese Chemical Letters, 21, 1449- 1452.
- Adamson, A.W., dan Gast, A.P. 1997. *Physical Chemistry of Surfaces: Six. Edition*. New York: John Willey & Son Inc
- Ali, Farida. 2014. *Pengaruh Waktu Perendaman Dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium Guajava, Linn) Sebagai Inhibitor Terhadap Laju Korosi Baja SS 304 Dalam Larutan Garam Dan Asam*. Palembang: Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
- Ameh P.O., L. Magaji, & T. Salihu. 2012. *Corrosion Inhibition and Adsorption Behavior for Mild Steel by Ficus Glumosa Gum in H₂SO₄ Solution*. African Journal of Pure and Applied Chemistry. Vol. 6, no. 7, pp. 100 106.
- Anonim. 1973. *NACE International "Corrosion Inhibitor"*. Texas: Nathan, C. C
- Anonim. 1999. *ASTM G102-89 "Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements"*. ASTM International
- Anonim. 2003. *ASM Handbook Volume 13A. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*. USA: ASM International.
- Anonim. 2004. *ASTM G31-72 "Laboratory Corrosion Testing of Metals"*. ASTM International
- Bundjali, B. 2000. *Tinjauan Termodinamika dan Kinetika Korosi serta Teknik-Teknik Pengukuran Laju Korosi*. Bandung: ITB
- Callister, William D. *Materials science and Engineering, an introduction*. 7th Edition. Wiley and Sons Publishing



-
- Cronquist, A. 1981. *An Intergrated System of Clasification of Flowering Plants*. New York: Columbia University Press
- Dardenne K, Vivien D dan Huguenin D. 1999. *Color of Mn (IV) substituted apatites A10 «B,Mn»4)6F2, A=Ba,Sr,Ca; B=P,V*. J Solid State Chem 146:464-472.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia
- Direkbusarakom S. 1997. *Efficacy of guava (Psidium guajava) extract against some fish and shrimp pathogenic agents*. In (Diseases in Asian Aquaculture III) T. W. Flegel and I. H. MacRac (Eds.), Fish Health Section Asian Fisheries Society, Manila, pp. 359-364.
- Snavely, E.S & N. Hackerman. 1970. *NACE Basic Corrosion Course*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.
- Fadli. 2011. *Studi Korosi Baja API 5L GBN didalam Larutan Asam Sulfat 1M dengan Penambahan Inhibitor Aniline-4 Sulfonate*. Depok: FMIPA, Universitas Indonesia
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Fessenden, R. J., and J. S. Fessenden, 1982. *Kimia Organik Jilid 1 Edisi Ketiga*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Firmasnyah, Dede. 2011. *Studi Inhibisi Korosi Baja Karbon Dalam Larutan Asam 1M HCl oleh Ekstrak Daun Sirsak (Annona muricata)*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
- Fontana, G. 1986. *Corrossion Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Gunaatmaja, Andhi. 2011. *Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Inhibitor Organik Di Lingkungan NaCl 3,5 %*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
- Hakim, Alfin Al. 2011. *Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasiskan Senyawa Fenolik Untuk Proteksi Pipa Baja*
-



- Karbon Pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 % NaCl yang Mengandung Gas CO₂*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
- Hakima, Chaouki. 2005. *Inhibition Corrosion of Eugenol on the Corrosion of Titanium-Nickel in Physiological Media*. SCSCC6, Volume VI, No. 2
- Haslim, Alfonsius Billy Joe. 2012. *Studi Inhibisi Korosi Baja API-5L (ASTM A53) dalam Air Formasi (Connate Water) dengan Ekstrak Kulit Buah Sawo (Manilkara Zapota) menggunakan Metode Polarisasi*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
- Holde KEV. 1985. *Physical Biochemistry*. New York: Prentice Hall, Inc.
- Ismail, N.Andijani, Mobin Mohammad. "Studies On The Determination Of Maximum Chloride Level In Product Water Transmitted Through Pipelines A, B And C1", 2005
- J.L. Crolet, M.Bonis. 1983. *The Role of Acetate Ions in CO₂ Corrosion, Corrosion/1983, Paper No. 160*. CA: NACE International
- Javaherdashti, Reza. 2000. *How Corrosion Affects Industry and Life*. London: SpringerVerlag
- Jingxuan W, Siuwen Y, Qing G. 1982. *Effect of transition metal ions Mn³⁺, CO²⁺, Ni²⁺ on the color of mixed Pr-Nd glasses*. Journal of Non Crystalline Solids 52: 447-454.
- Jones, Denny. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. New York: Macmillan Publishing Company.
- K.R. Trethewey and J. Chamberlain. 1995. *Corrosion for Science and Engineering 2nd Edition*. UK: Longman
- Khalaf NA, Ashok KS, Atif AO, Zaha EA, Husni F. 2007. *Antioxidant activities of some common plants*. Turk J Biol (31):1-5
- Lowell, S., Shields, J.E. 1984. *Powder Surface and Porosity 2nd Edition*. New York: Chapman and Hall Ltd



-
- Lumingkewas, Meiske. 2014. *Aktivitas Antifotooksidan Dan Komposisi Fenolik Dari Daun Cengkeh (Eugenia aromatic L.)*. Manado : Universitas Sam Ratulangi
- Marwati, T. 2007. *Pemucatan Minyak Daun Cengkeh dengan Metode Khelasi Menggunakan Asam Sitrat*. Bogor: IPB
- Masel, Richard I. 1996. *Principles of Adsorption and Reaction on Solid Surfaces*. USA: Wiley-Interscience
- McCash, Elaine M. 2001. *Surface Chemistry*. London: Oxford University Press
- Mistry, B.D. 2009. *A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*. India: Oxford Book Company
- Mu'nisa, A. 2009. *Aktivitas Antioksidan dan Anti Hiperkolesterolemia Ekstrak Daun Cengkeh (Eugenia aromatica O.K) pada Kelinci*. Bogor: IPB
- Muller B, Klager W, Kubitzki G. 1997. *Metal chelates of citric acid as corrosion inhibitors for zinc pigment*. Corrosion Sci 39 (8): 1481-1485.
- Nataria, Andita. 2012. *Ekstrak Daun Jambu Biji Sebagai Inhibitor Korosi Baja SS 304 Dalam Asam Sulfat*. Malang: Teknik Kimia Universitas Brawijaya
- Nurdin A, Mulyana A, Suratno H. 2001. *Isolation eugenol dari minyak daun cengkeh skala pilot plant*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia. Vol 3, No. 9, hal 58-62.
- Osvatori A., S.M. Hoseinie, M. Peikar, S.R. Shadizadeh, S.J. Hashemi. 2009. *Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl solution by henna extract: A comparative study of the inhibition by henna and its constituents (Lawson, Gallic acid, α -D-Glucose and Tannic acid)* Corros. Sci., 51 1935 1949.
- Pandyo, Nitiyoga Adhika. 2012. *Studi Pengaruh pH Lingkungan 4 terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 sebagai Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ Pada Larutan NaCl 3.5 % dengan Variasi Laju Aliran*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
-



- Permana, M Wildan. 2011. *Pengaruh Teh Rosela Merah (Hibiscus Sabdariffa) sebagai Inhibitor Organik Pada Baja Karbon Rendah Berdasarkan Waktu Perendaman di Lingkungan HCl 1 Molar*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
- Puspitasari, Fitri. 2014. *Perlindungan Korosi Baja Karbon Dalam Lingkungan Sesuai Kondisi Pengeboran Pipa Minyak Bumi Menggunakan Bawang Putih (Allium sativum L.) Sebagai Alternative Inhibitor*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Rahim, A.A et. al. 2007. *Mangrove Tannins and Their Flavanoid Monomers as Alternative Steel Corrosion Inhibitors in Acidic Medium*. Corrosion Science. Vol. 49 pp. 402-417.
- Rahmayeni, dkk. 2001. *Studi Interaksi antara Besi (III) Tanat dengan Tanin Secara Spektrofotometri dan Titrasi Asam Basa*. Padang: Universitas Andalas
- Raja, P. Bothi, M.G. Sethuraman, 2008. *Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media – A review*. Materials Letters, 62, 113-116.
- Rani, Amitha B.E & Basu, Bharathi. 2012. *Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview*. India: Hindawi Publishing Corporation
- Roberge, Pierre R.. 2008. *Corrosion Engineering –Principles and Practice*. USA: The McGraw-Hill Companies Inc.
- Rorong, Johnly Alfreds. 2014. *Potensi Daun Cengkih Sebagai Biosensitizer Untuk Fotoreduksi Besi Pada Lahan Pertanian Hortikultura*. Manado: Universitas Sam Ratulangi
- Rustandi. Andi, Iandiano, Dito. 2011. *Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ Pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5 dan 3.5 %*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia



- Singh AK, Majumdar N. 1997. *Role of metal cation in color transition and hydrolysis of the chromophores of retinal binding photoreceptor proteins*. Journal of Photochemistry and Photobiology B. Biology 39: 1..0-145.
- Singh, AK, M.A. Quraishi, Eno E. Ebenso, "Investigation of adsorption characteristics of $N,N0$ [(methylimino)dimethylidyne] di-2,4-xylidine as corrosion inhibitor at mild steel/sulphuric acid interface," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 43, pp. 463–472, 2012.
- Sitorus, Ardiles Jeremia. 2013. *Studi Ekstrak Daun Cengkeh Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan (Green Corrosion Inhibitor) Pada Baja Api 5 L Dalam Lingkungan NaCl 3.5%*. Depok: Teknik Metalurgi Universitas Indonesia
- Souza, F.S de, A. Spinelli. 2009. *Caffeic acid as a green inhibitor in mild steel*. Corrosion science 51 (3) pp 642-649
- Syamsuhidayat, S.S dan Hutapea, J.R. 1991. *Inventaris Tanaman Obat Indonesia*, edisi kedua, Departemen Kesehatan RI, Jakarta
- Towaha, Juniaty. 2012. *Manfaat Eugenol Cengkeh dalam Berbagai Industry di Indonesia*. Perspektif Vol. 11 No. 2
- U. Förstner und G. T. W. Wittmann. 1979. *Metall Pollution in the aquatic Environment*. New York: Springer-Verlag
- Ueda, M dan Takabe, H. 1998. *Effect of Organic Acid in CO_2 Corrosion of Carbon and Cr Bearing Steel*. Corrosion
- Villamel R.F.V., P. Corio, J.C. Rubim, dan S.M.L. Agostinho. 2002. *Sodium dodecylsulfate/benzotriazole synergistic effect as an inhibitor of processes on copper | chloridric acid interfaces*. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 535, 75-83.
- Wahyuningsih A. 2010. *Merenamina sebagai inhibitor korosi baja karbon dalam lingkungan sesuai kondisi pertambangan minyak bumi*. Jurusan Pendidikan Kimia. Universitas Pendidikan Indonesia



- X. Chen, et. al. 2008. *Study of The Formation and Growth of Tannic Acid based Conversion Coating on AZ91D Magnesium Alloy*. Surface and Coating Technology. Vol. 204, no. 5, pp. 736-747
- Yan, Y. Li, Weihua. Cai, Lankun. Hou, Baorong. 2007. *"Electrochemical and Quantum Chemical Study of Purines as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 1M HCl solution"*. Electrochimica Acta 53 (2008): 5953-5960.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Indah Amalia. Lahir di Batam pada tanggal 25 September 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan di SDN 001 Batam, SMPN 09 Batam, SMAN 1 Batam, dan sekarang menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Selama masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi. Pada tahun 2013/2014 penulis menjadi staff Departemen

Pengabdian Masyarakat HMMT FTI-ITS dan SC Kaderisasi HMMT FTI-ITS. Pada tahun 2014/2015 penulis menjadi Wakil I Kepala Departemen Pengabdian Masyarakat HMMT FTI-ITS dan juga Pemandu ATLAS FTI-ITS.

Penulis melakukan kerja praktik di PT. Elnusa *Oil and Gas Services*, Balikpapan dengan penelitian mengenai korosi pada *drilling operation system* (DOS) dan *cathodic protection* pada *barge* ELSA8. Kemudian penulis meneliti *green corrosion inhibitor* di bidang korosi dan kegagalan material sebagai bahan tugas akhir. Email yang dapat dihubungi yaitu indah.amalia25@gmail.com.